REVISTA
ESPAMCIENCIA
para el agro

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López

ISSN-e: 1390-8103

VOLUMEN 15

N°2

JULIO-DICIEMBRE 2024

humanos EDITORIAL

latindex BASE REDIB Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico MIAR Matriz de Información para el Análisis de Revistas PERIÓDICA Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias Dialnet AmeliCA

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

INFLUENCIA DEL PARENTAL MASCULINO SOBRE EL PODER GERMINATIVO DE SEMILLAS DE PALMA ACEITERA

INFLUENCE OF MALE PARENTAL ON GERMINATIVE POWER OF OIL PALM SEEDS

Silvia Madelein Zambrano Marcillo, Mercedes Elizabeth Navarrete Párraga , Martha Alicia Romero Pizarro, Ernesto Paredes Puga, Mayra Lourdes Arguello Villacrés, Silvana Rosario Defaz Fierro, Dígner Santiago Ortega Cedillo

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Santo Domingo, Km 38 vía Santo Domingo – Quinindé

Email: silvia.zambrano@iniap.gob.ec

Información del artículo

Tipo de artículo: Artículo original

Recibido: 01/04/2024

Aceptado: 13/08/2024

Licencia: CC BY-NC-SA 4.0

Revista ESPAMCIENCIA 15(2):1-6

DOI: https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v15i2.384

Resumen

El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), utiliza parentales femeninos (Dura - Deli) y masculinos (Pisífera) de diferentes procedencias para obtener el híbrido INIAP - Tenera, de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq). Con el objetivo de evaluar la influencia del parental masculino sobre la germinación de las semillas de palma aceitera africana, se llevaron al proceso de germinación semillas de 20 racimos procedentes del cruzamiento de 10 plantas Duras con polen de dos plantas Pisíferas. En el proceso de germinación, las semillas fueron sometidas ocho días en imbibición 1; 80 días en calentamiento; 24 horas en secamiento; cuatro días en imbibición 2 y seis horas en secamiento. Se evaluaron 100 semillas por tratamiento y por repetición, usando el diseño completamente aleatorizado, asistido por la prueba de Tukey al 5%. Los resultados mostraron que las semillas provenientes de las plantas duras D1, D8 y D9 cruzadas con el parental masculino P1 alcanzaron mayor porcentaje de germinación óptima y diferencias estadísticas con respecto a las semillas provenientes de las mismas plantas Duras cruzadas con la Pisífera P2; de las 10 progenitoras Duras estudiadas, siete de ellas (D1, D3, D4, D5, D8, D9, D10) al cruzarse con la Pisífera P1 obtuvo germinación óptima promedio superior al 50 %; en cambio solo dos de las duras (D3 y D5) evaluadas y cruzadas con la Pisífera P2 lograron germinación óptima igual o superior al 50 %. Demostrándose que la germinación de semillas Tenera (Dura x Pisífera) de palma aceitera Africana guarda alta relación con el progenitor masculino utilizado.

Palabras clave: Constitución genética, viabilidad, parental masculino, poder germinativo, híbrido

Abstract

The National Institute of Agricultural Research (INIAP) uses female parentals (Dura - Deli) and male parentals (Pisifera) from different origins to obtain the hybrid INIAP - Tenera of oil palm (*Elaeis guineensis Jacq*). The objective was to evaluate the influence of the male parental on the germination of African oil palm seeds. Seeds from 20 bunches, resulting from the crossing of 10 Dura plants with pollen from two Pisifera plants, were subjected to the germination process. The process involved eight days of imbibition 1, 80 days of heating, 24 hours of drying, four days of imbibition 2, and six hours of drying. One hundred seeds per treatment and per repetition were evaluated using a completely randomized design, assisted by Tukey's test at 5%. The results showed that seeds from Dura plants D1, D8, and D9 crossed with the male parental P1 achieved a higher percentage of optimal germination and statistical differences compared to seeds from the same Dura plants crossed with Pisifera P2. Of the 10 Dura progenitors studied, seven (D1, D3, D4, D5, D8, D9, D10) crossed with Pisifera P1 achieved an average optimal germination rate above 50%, while only two of the Dura plants (D3 and D5) evaluated and crossed with Pisifera P2 achieved an optimal germination rate equal to or above 50%. This demonstrated that the germination of Tenera seeds (Dura x Pisifera) of African oil palm is highly related to the male parental use.

Keywords: Genetic constitution, viability, male parental, germinative power, hybrid.

INTRODUCCIÓN

El principal material de siembra comercial de palma aceitera –*Elaeis guineensis* Jacq.– a nivel mundial, es el híbrido tenera proveniente del cruce, entre materiales de tipo Dura x tipo Pisifera (Rajanaidu, 2017); generalmente las madres utilizadas en esta especie para el mejoramientos genético provienen de palmas Deli Dura, derivadas de cuatro plantas sembradas en Bogor en 1848, en Java, Indonesia; siendo que el material masculino en esta especie se limita a unas pocas plantas y los productores de semillas utilizan principalmente polen de Avros, Lamé, Yangambí y Camerún (Rajanaidu *et al*., 1998).

La palma aceitera se reproduce sexualmente por semillas y para la producción comercial de semillas de palma africana Tenera se realizan cruzamientos dirigidos para evitar variabilidad en la progenie (Vegas *et al*., 2019). El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias –INIAP–, desde el año 1967 comercializa semillas Tenera, predominando las características de Dura Deli en las madres utilizadas, para la producción del híbrido INIAP–Tenera. El INIAP dispone de un banco de germoplasma de palma africana de donde se seleccionan los parentales de acuerdo a la evaluación por más de 15 años de caracteres cuantitativos y cualitativos deseables (Maldonado, 2003).

La semilla de palma aceitera está conformada por endocarpio, endospermo y embrión y posee un ovario tricarpelar con tres poros germinales, pero generalmente abortan dos de los tres óvulos que tiene; sin embargo, cuando no lo hace se da origen a plantas dobles o triples (Corley y Tinker, 2016); Ellis *et al*. (1991) clasificaron a la semilla de palma aceitera como categoría intermedia entre ortodoxa y recalcitrante debido a que cuando estas se almacenan a temperaturas entre 0 y -20°C disminuyen su viabilidad; aunque, con bajo contenido de humedad conservan la viabilidad.

La semilla de palma aceitera cuando se cosecha se encuentra en latencia, presentando a nivel comercial dificultades para su germinación (Herrera *et al*., 1998), y para el proceso de germinación comercial ocurra, se utiliza el método de calor seco, esto es, sometiendo las semillas a dos inmersiones o remojos y a 80 días de calentamiento a temperaturas entre 38 y 40°C, teniendo este método como ventaja que la humedad no es un factor crítico para la germinación (Corley & Tinker, 2016). Fondom *et al*. (2010) demostraron que las semillas de palma con un calentamiento de 60 días a temperaturas entre 37 y 39°C pueden llegar al máximo de germinación, concordando con Hussey (1958) que indica que con tratamiento térmico continuo entre 38 y 40°C se puede lograr una germinación del 50% en pocos meses.

El calentamiento en el proceso de germinación de semillas de palma aceitera es usado para debilitar el opérculo y así dar inicio a la germinación; sin embargo, la inmersión, el secado, la pulverización periódica de las semillas con agua destilada, temperaturas y aireación adecuada son otros factores que influyen en la germinación (Kelanaputra *et al*., 2018).

El haustorio cumple un papel importante en la germinación de la semilla de Aracaceae ya que se interconecta con el endospermo e induce actividades enzimáticas en él; además sintetiza, enzimas, transfiere metabolitos e involucra rutas metabólicas específicas (Mazzottini *et al*., 2017). Cui *et al*. (2020) indican que los avances en el metabolismo de la germinación de las semillas de palma aceitera han sido muy limitados desde la década de los 80, en donde se mostró el papel del haustorio en la germinación y que los estudios futuros deberían centrarse en la genómica funcional de la germinación; mientras que, la metabólica deberá ser usada para resolver el perfil espacial y temporal de metabolitos en los diferentes tejidos de la semilla durante la germinación.

Considerando que el INIAP es el principal productor de semillas germinadas de palma africana en el Ecuador y que cuenta con un número variado de parentales femeninos y masculinos se hace indispensable conocer el efecto combinatorio que tienen estos parentales, siendo el propósito de este estudio determinar la influencia que tiene el parental masculino en la germinación de las semillas de palma africana.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias –INIAP–, Estación Experimental Santo Domingo, en condiciones controladas de temperatura y humedad, los cuartos de calentamiento estuvieron calibrados a temperatura entre 38 a 40°C y humedad entre 35 a 45°C y los cuartos de germinación a temperatura entre 26 a 28°C y con humedad entre 45 a 65%.

Para esta investigación se utilizaron 6000 semillas de palma aceitera –*E. guineensis*– seleccionando al azar 100 semillas de palma por tratamiento y por repetición, en condiciones homogéneas de acuerdo a ISTA (2024), provenientes de 20 progenies –Dura x Pisífera–; estas semillas fueron obtenidas por polinización asistida, cruzando 10 progenitoras femeninas –Dura Deli– con 2 padres –Pisífera– (Cuadro 1), luego de 150 a 180 días de la polinización se cosecharon los racimos los mismos que fueron desgranados –Separación del fruto del raquis–, fermentados en agua por 15 días, y despulpados con la finalidad de obtener la semilla propiamente dicha; las semillas fueron secadas a temperatura ambiente y almacenadas en cuartos fríos con temperaturas entre 18 a 22°C.

Para dar inicio al proceso de germinación todas las semillas fueron sacadas de almacenamiento y llevadas a una

primera imbibición en agua por ocho días, luego secadas a temperatura ambiente por 24 h, para después ser llevadas a calentamiento por 80 días, una vez que salieron del tratamiento térmico fueron colocadas en una segunda imbibición en agua por cuatro días, y secadas a temperatura ambiente por 6 horas para posteriormente ser llevadas a los cuartos de germinación; después de 30 días de permanecer las semillas en cuartos de germinación se empezó la selección de semillas germinadas y las consecuentes evaluaciones lo mismo que se realizó por cinco semanas consecutivas. El ensayo se instaló en el diseño experimental completamente aleatorizado, donde los tratamientos provienen del arreglo factorial A x B, con tres repeticiones y para efectos de comparación de los valores promedios se utilizó la prueba de Tukey al 5%.

Cuadro 1. Descripción de la genealogía de los parentales y descripción de las progenies Dura x Pisífera

Progenitor femenino (Dura)		Progenitor Masculino (Pisífera) P1	P2
		16A.386TNigeria x 13A.183T Angola	1.2228T Angola. X 1.2224T. Angola
D1	2.263D x 13A.48T	D1 x P1	D1 x P2
D 2	3.11.8D x 17A.25T	D2 x P1	D2 x P2
D 3	14.131D x 16A.323D	D3 x P1	D3 x P2
D 4	14.269D	D4 x P1	D4 x P2
D 5	14.269D x 16B.206D	D5 x P1	D5 x P2
D 6	14.269D x 2.263D	D6 x P1	D6 x P2
D 7	14.8D x 13A.273T	D7 x P1	D7 x P2
D 8	14.8D x 14.537D	D8 x P1	D8 x P2
D 9	15.64D x 3.11.8D	D9 x P1	D9 x P2
D 10	16B.312D x 14.131D	D10 x P1	D10 x P2

T= Tenera; D= Dura; P= Pisífera

En cada etapa del proceso de germinación se realizó prueba del contenido de humedad utilizando la siguiente fórmula:

$$\%Humedad = \frac{Peso\ húmedo - Peso\ seco}{Peso\ seco} x\ 100$$

Variables determinadas:

Germinación total. Cada semana se determinó el número total de semillas germinadas por cada uno de los tratamientos y repetición; al final del ensayo se calculó esta variable utilizando la siguiente fórmula:

$$Germiniación\ total\ (\%) = \frac{Total\ de\ semillas\ germinadas}{Semillas\ ingresadas\ al\ proceso} x\ 100$$

Germinación con estándar óptimo. Para determinar esta variable se consideró a todas aquellas semillas bien conformadas que alcanzaron una longitud mínima de radícula de 1 cm y de plúmula de 0,5 cm a 1 cm. Para esta variable se utilizó la siguiente fórmula:

$$Germinación\ estándar\ óptimo\ (\%) = \frac{Semillas\ germinadas\ óptimas}{Semillas\ ingresadas\ al\ proceso} x\ 100$$

Germinación atípica. La germinación atípica se determinó al momento que se realizó la selección de semillas germinadas óptimas para la siembra; toda semilla germinada que presentaba radícula o plúmula con características no deseables fue considerada atípica. Para calcular esta variable se utilizó la siguiente fórmula:

$$Germinación\ atípica\ (\%) = \frac{Semillas\ germinadas\ atípica}{Total\ de\ semillas\ germinadas} x\ 100$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Germinación total

El análisis de varianza (ADEVA) para la variable germinación total determinó diferencias altamente significativas para los progenitores Duras, Pisíferas y para las combinaciones entre ellas, con coeficiente de variación (CV) de 20,88% (Cuadro 2). En la combinación D x P se evidenció que existe diferencia altamente significativa, para los tratamientos y para el cruce de una misma dura con diferentes Pisíferas, es así que en la figura 1, se observa que cinco de las progenitoras Dura (D2, D4, D8, D9 y D10) cruzados con la Pisífera P1, fueron estadísticamente diferentes al cruzarlas con P2. Además, el 90% de las Duras evaluadas cruzadas con P1 presentaron mayor porcentaje de germinación con relación a cuando se cruzaron con P2. En este mismo contexto Fondom *et al*. (2010) evaluaron semillas de 10 progenies (D x P) de palma africana, con diferentes periodos de calentamiento resultando que solo cuatro de ellas obtuvieron promedios de germinación superiores al 50%.

Cuadro 2. Análisis de varianza para total de semillas germinadas

FV	Gl	SC	CM	F
Dura	9	16.484,58	1831,62	13,77
Pisífera	1	11.164,65	11164,65	83,93
Dura x Pisífera	9	7.293,73	810,41	6,09**
Error	40	5.320,71	133,02	
CV (%) 20,88				

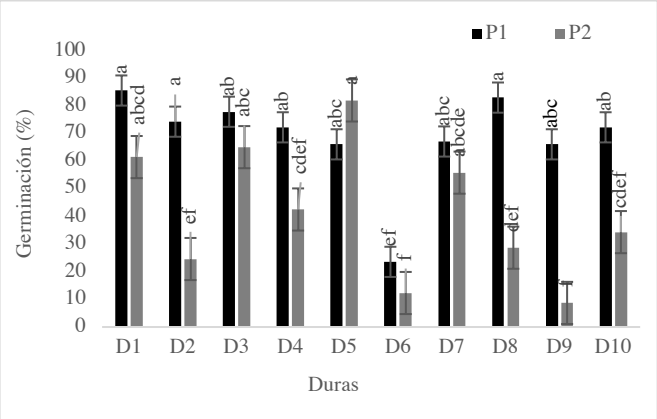


Figura 1. Germinación total de 20 progenies (Dura x Pisífera) y comparación de cada dura cruzada con P1 y P2.

En la figura 2, se muestra que las Duras D5, D1 y D3 lograron el mayor porcentaje de germinación total con valores superiores al 70% y que D5 y D1 son diferentes estadísticamente a D2, D9 y D6. Cuando se compararon los porcentajes de germinación para los padres, resultó que la Pisífera P1 tuvo un promedio de germinación de 68,87% y la Pisífera P2 54%, con diferencia estadística altamente significativa entre ellas (Figura 3).

Germinación con estándar óptimo

El análisis de varianza (ADEVA) para la variable germinación de semillas con estándar óptimo, mostró resultados altamente significativos para la combinación Dura x Pisífera, con un coeficiente de variación de 25,68% (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de varianza para germinación de semillas óptima

FV	GL	SC	CM	F
Dura	9	15.506,06	1722,89	14,12
Pisífera	1	8.529,00	8456,37	69,92
Dura x Pisífera	9	6.157,86	684,21	5,61**
Error	40	4.879,02	121,98	
CV(%)	25,68			

** Significativos a 1 % de probabilidad por la prueba de F.

La comparación de medias para el factor Dura, mostró cinco rangos de diferencias estadística, alcanzando los códigos D1, D3 y D5 porcentajes de germinación superior al 50% y resultando estadísticamente iguales entre ellos; sin embargo, la Dura D3 con un promedio de germinación óptima de 63,85% fue diferente estadísticamente a las progenies D2, D6, D7 y D9 que tuvieron germinación óptima inferior al 43% (Figura 2) entre los padres también hubo diferencias estadísticas, es así que en la figura 3, se observa que para esta variable el progenitor masculino P1 tuvo un mayor promedio de germinación (41,59%) con relación al progenitor masculino P2 (30,26%).

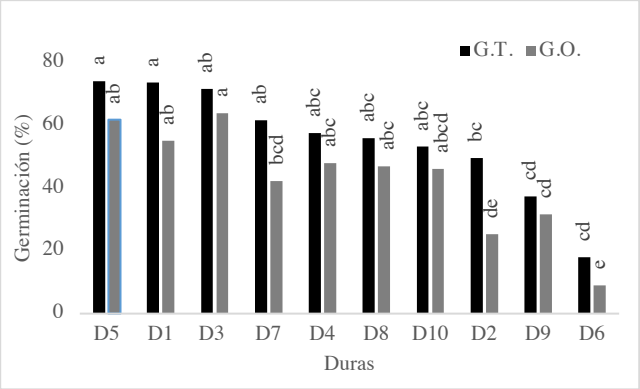


Figura 2. Comparación de medias para germinación total (G.T.) y para germinación óptima (G.O.) de 10 materiales Dura.

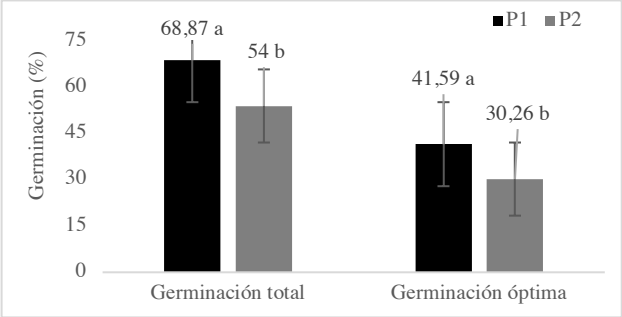


Figura 3. Comparación de medias para germinación total (G.T.) y para germinación óptima (G.O.) de dos materiales Pisífera.

Cuando se realizó la comparación de medias utilizando Tukey al 5% para las progenies D x P, se obtuvo que existían diferencias significativas entre ellos y que los cruzamientos D1 x P1 y D8 x P1 mostraron los mayores porcentajes de semillas germinadas óptimas con 74,36% y 73,33% respectivamente. Al hacer la comparación de cada una de las Duras evaluadas cruzadas con las Pisífera P1 y P2, los resultados mostraron diferencias estadísticas para D1, D8 y D9 al combinarse con las Pisíferas evaluadas, siendo el porcentaje medio de germinación óptima entre D1 x P1 de 74,36% mientras que de D1 x P2 fue de 34,36%; así mismo el porcentaje medio de germinación óptima entre D8 X P1 fue de 73,33% y de esta misma progenitora D8 con P2 fue de 14,87% y la germinación de D9 x P1 fue de 56,41 % mientras que D9 x P2 alcanzó 5,13% de germinación óptima (Cuadro 4). Thawaro y Techato (2010) al estudiar diferentes medios de cultivos y genotipos en palma aceitera concluyeron que la germinación de las semillas en esta especie se ve afectada por los genotipos o combinaciones cruzadas y por el medio de cultivo. Los genotipos influyen en el largo del embrión y la germinación puede atribuirse al creciente potencial del embrión, embriones subdesarrollados presentan dificultad en la germinación (Norsazwan *et al*., 2016). El crecimiento del embrión en las palmas promueve el desplazamiento del opérculo durante la germinación (Mazzottini *et al*., 2018).

Además, se observó que 7 (D1, D3, D4, D5, D8, D9, D10) de las 10 Duras evaluadas al cruzarse con la Pisífera P1, tuvieron una germinación óptima superior al 50% y que solo 2 progenitoras femeninas duras (D3 y D5) lograron germinaciones superiores al 50% al cruzarse con P2; el contenido de humedad de las progenies antes del ingreso a cuarto caliente osciló entre 14 y 18% , no encontrándose diferencias estadísticas entre progenies con igual progenitor femenino, pero sí entre las progenies D1 x P1 y D9 x P2 con respecto a D7 x P2 (Cuadro 4). Los resultados de germinación óptima al compararse con la humedad de las semillas corroboran lo expresado por Corley y Tinker (2016) que utilizando el método de calor seco con semilla entre 14 y 21% de humedad se puede lograr germinaciones satisfactorias. Los diferentes genotipos de palma aceitera también influyen en la producción de callos, al realizar cultivo *in vitro* de embriones inmaduros (Sanputawong &

Te-chato, 2008). La diferencia entre las progenies podría atribuirse a su constitución genética (Fondom, 2010). Cervantes *et al*. (2016) indican que en cruzamientos dialélicos con 5 líneas de maíz, se encontraron diferencias significativas para la germinación entre los genotipos.

Cuadro 4. Comparación de germinación óptima entre 20 progenies (D x P) de palma aceitera

Duras	Pisíferas			
	P1		P2	
	Germinación (%)	Humedad de la semilla al ingresar a calentamiento (%)	Germinación (%)	Humedad de la semilla al ingresar a calentamiento (%)
D1	74,36 a	18 a	34,36 bcde	17 ab
D2	37,95 bcde	16 ab	11,28 e	16 ab
D3	67,18 ab	17 ab	58,46 abc	16 ab
D4	56,92 abc	16 ab	36,41 bcde	17 ab
D5	54,36 abc	17 ab	67,18 ab	17 ab
D6	11,79 e	17 ab	5,64 e	15 ab
D7	47,18 abcd	15 ab	37,44 bcde	14 b
D8	73,33 a	17 ab	14,87 de	15 ab
D9	56,41 abc	17 ab	5,13 e	18 a
D10	60,51 abc	17 ab	31,79 cde	17 ab

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Germinación atípica

Se consideró como germinación atípica, aquellas semillas que no presentaron plúmula o radícula bien desarrollada como semillas con dos raíces, con plúmula hueca entre otras (Kelanaputra *et al*., 2018). El análisis de varianza (ADEVA), no mostró diferencias significativas para la interacción Dura x Pisífera, sin embargo, se evidenció diferencias altamente significativas entre los materiales Dura y entre los materiales Pisífera (Cuadro 5).

Cuadro 5. Análisis de varianza para germinación de semilla atípica

FV	GL	SC	CM	F
Dura	9	8.781,72	975,75	3,51**
Pisífera	1	1.867,17	1867,17	6,72**
Dura x Pisífera	9	5.185,42	576,16	2,07
Error	40	11.122,14	278,05	

En la figura 4 se observa, que del total de semillas germinadas las progenitoras duras D2 y D6 tuvieron germinaciones atípicas de 47 y 45% respectivamente, siendo estadísticamente diferentes a los progenitores D10 y D3 que tuvieron una germinación atípica no mayor al 12%. Las Pisíferas también mostraron diferencias significativas, es así que P2 tuvo un promedio de 33% de semillas germinadas atípicas a diferencia de P1 que solo alcanzó el 22% promedio en esta categoría (Figura 5). Por otro lado, la combinación D x P no mostró diferencias estadísticas. La siembra de semillas atípicas, reducen la emergencia de las plántulas e incrementa la cantidad de plantas anormales en el vivero (Mora *et al*., 2007).

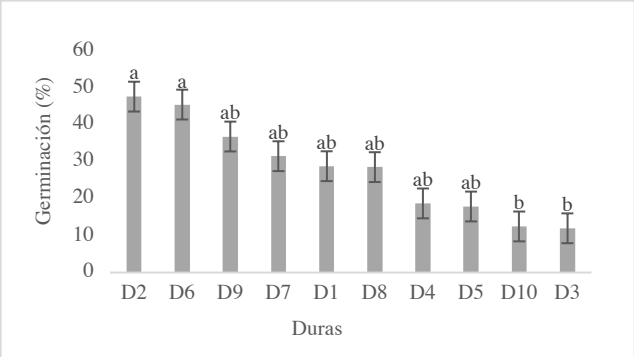


Figura 4. Comparación de medias de 10 progenitoras Dura de palma aceitera para germinación atípica de semillas.

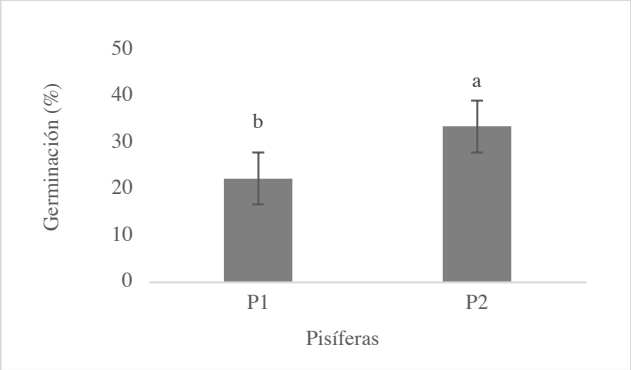


Figura 5. Comparación de medias de dos progenitores Pisíferas de palma aceitera para germinación atípica de semillas.

CONCLUSIONES

El 90% de los híbridos Teneras (Dura x Pisífera) evaluados y cruzados con la Pisífera P1 alcanzaron el 50% de germinación total, así mismo el 70% de ellos superaron el 50% de germinación óptima. A diferencia de cuando se utilizó la Pisífera P2 como progenitor masculino, en donde solo el 20% de los cruzamientos evaluados superaron el 50% de germinación total y de germinación óptima. Se concluye que el porcentaje de germinación de semillas Tenera (Dura x Pisífera) de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) guarda una alta relación con el progenitor masculino utilizado.

LITERATURA CITADA

Cervantes-Ortiz, F., Hernández-Esparza, J., Rangel-Lucio, J. A., Andrio-Enríquez, E., Mendoza-Elos, M., Rodríguez-Pérez, G. y Guevara-Acevedo, L. P. 2016. Aptitud combinatoria general y específica en la calidad de semilla de líneas S3 de maíz. Revista Fitotecnia Mexicana, 39(3):259-268. https://bit.ly/36WQLtE

Corley, R., & Tinker, P. 2016. The oil palm. Fifth edition. Oxford. USA. Wiley Blackwel. 692 p

Cui, J., Lamade, E., & Tcherkez, G. 2020. Seed germination in oil palm (Elaeis guineensis Jacq.): a review of metabolic pathways and control mechanisms. International journal of molecular sciences, 21(12):4227. 10.3390/ijms21124227

Ellis, R.H., Hong, T.D., Roberts, E.H., y Soetisna, U. 1991. "Seed storage behaviour in *Elaeis guineensis*". Seed Science Research, 1(2):99-104. https://doi.org/10.1017/S0960258500000726

Fondom, N. Y., Etta, C. E., & Mih, A. M. 2010. Breaking seed dormancy: revisiting heat-treatment duration on germination and subsequent seedling growth of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) progenies. Journal of Agricultural Science, 2(2):101. https://bit.ly/36U8NwV

Herrera, J., Alizaga, R. y Guevara, E. 1998. Inducción de la germinación en semillas de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) utilizando tratamientos químicos. ASD Oil Palm Paper, 18(18):1-16. https://bit.ly/3cRl09l

Hussey, G. 1958. An analysis of the factors controlling the germination of the seed of the oil palm, *Elaeis guineensis* (Jacq.). Annals of Botany, 22(2):259-284. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a083610

ISTA (International Seed Testing Association). 2024. International rules for seed testing. https://bitly.cx/u7wcW

Kelanaputra, E. S., Nelson, S. P., Setiawati, U., Sitepu, B., Nur, F., Forster, B. P., & Purba, A. R. 2018. Seed Production in Oil Palm: A Manual. CABI.

Maldonado, E. 2003. Reseña Histórica de la Estación Experimental Santo Domingo. Revista Técnica Informativa INIAP. Santo Domingo de los Colorados, Ecuador. p 5-12. https://bit.ly/3p0gYOl

Mazzottini-dos-Santos, H. C., Ribeiro, L. M., & Oliveira, D. M. T. 2017. Roles of the haustorium and endosperm during the development of seedlings of *Acrocomia aculeata* (Arecaceae): dynamics of reserve mobilization and accumulation. Protoplasma, 254(4):1563-1578.

Mazzottini-dos-Santos, H. C., Ribeiro, L. M., & Oliveira, D. M. T. 2018. Structural changes in the micropylar region and overcoming dormancy in Cerrado palms seeds. Trees, 32(5):1415-1428. https://doi.org/10.1007/s00468-018-1723

Mora, S., Chinchilla, C., Sánchez, A. y Escobar, R. 2007. Innovación en los procesos para mejorar la calidad de las semillas germinadas y de las plántulas de palma aceitera. Revista Palmas, 28(E):265-272. https://bit.ly/3Ljvqx7

Norsazwan, M. G., Puteh, A. B., & Rafii, M. Y. 2016. Oil palm (*Elaeis guineensis*) seed dormancy type and germination pattern. Seed Science and Technology, 44(1):15-26. https://doi.org/10.15258/sst.2016.44.1.14

Rajanaidu, N., Jalani, B. S., & Kushairi, A. 1998. Avances recientes en el mejoramiento de la palma de aceite y su incidencia en la productividad. Palmas, 19:169-179. https://bit.ly/2YYtFPa

Rajanaidu, N. 2017. Una mirada al mejoramiento genético de la palma de aceite en los últimos cincuenta años: una aventura personal. Revista Palmas, 37:190-202. https://bit.ly/3aLkjf1

Sanputawong, S., & Te-chato, S. 2008. Effect of genotypes of oil palm as indicator for speed of callus and embryogenic callus formation. Journal of Agricultural Technology, 4:147-56. https://bit.ly/3jBUbqX

Thawaro, S., & Te-chato, S. 2010. Effect of culture medium and genotype on germination of hybrid oil palm zygotic embryos. Science Asia, 36(1):26-32. https://bit.ly/3cUub8W

Vegas, A., Martínez, P., Ortega, D., Paredes, E., Gualoto, W., Quintero, L., & Baque, W. 2019. Efecto del sorbitol, manitol y la sacarosa en la germinación *in vitro* de embriones de palma africana. Revista de la Facultad de Agronomía de La Universidad del Zulia, 36(3):247-264.

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

ADAPTACIÓN DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS EN UN SISTEMA SILVOPASTORIL PARA OVINOS EN CLIMA TEMPLADO

ADAPTATION OF TREE LEGUMES IN A SILVOPASTORAL SYSTEM FOR SHEEP IN A TEMPERATE CLIMATE

María Guadalupe Josefina Nuncio Ochoa[1], Alek Fernando Pérez Olivera[1], Benjamín Gómez Ramos[1,2], Verónica Trujillo Pahua[1], Isaías de Jesús Díaz Maldonado[1], Javier Oviedo Boyso[2], Vicente Salinas Delgado[1], Rafael María Román Bravo[2]

[1]Instituto Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico del Valle de Morelia, km. 6,5 Carretera Morelia-Salamanca, Col. Los Ángeles, Morelia, Michoacán, México.

[2]Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.

Email: benjamin.gr@vmorelia.tecnm.mx

Información del artículo

Tipo de artículo: Artículo original

Recibido: 22/03/2024

Aceptado: 19/08/2024

Licencia: CC BY-NC-SA 4.0

Revista ESPAMCIENCIA 15(2):7-15

DOI: https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v15i2.482

Resumen

El objetivo fue evaluar durante un periodo de un año, la supervivencia, la producción y el valor nutricional del forraje, de leguminosas arbóreas asi como de las gramíneas y arvenses en un sistema silvopastoril. Se estableció un banco de proteína mixto conformado por dos parcelas, en la primer parcela la orientación de plantación fue de Este a Oeste y en la segunda de Norte a Sur, los árboles plantados fueron especies leguminosas: pata de vaca *(Bauhinia forficata)*, albizia *(Albizia lebbeck)*, leucaena *(Leucaena leucocephala)* y palo dulce *(Eysenhardtia polystachya)*. Se emplearon tres marcos reales de plantación, con una distancia de 70x70, 90x90. y 110x110 cm, entre árboles. Se contabilizó de manera visual y manual, identificando la especie y su condición vivo de manera binomial (1) o muerto (0). Se utilizó un modelo en tres vías de clasificación con desigual número de repeticiones usando el procedimiento para Modelos Lineales Generalizados del sistema de análisis estadístico, bajo un modelo de efectos fijos. El valor nutricional de las leguminosas arbóreas se mantuvo en un rango del 11 al 18% de proteína. Se observaron diferencias ($p \leq 0,05$) entre tratamientos y la orientación sobre la altura. Hubo efecto ($p \leq 0,05$) sobre el tratamiento, orientación, periodo y las cuatro especies sobre la producción de follaje. Se observaron diferencias ($p \leq 0,05$) de supervivencia de las especies destacando la albizia (*Albizia lebbeck)*. El periodo influyó ($p \leq 0,05$) en la supervivencia de los árboles. Se concluye que la taza de sobrevivencia para especies de leguminosas arbóreas forrajeras, determinan su capacidad para establecer sistemas silvopastoriles en clima templado subhúmedo en arreglos de bancos de proteína mixtos.

Palabras clave: Banco de proteína mixtos, densidad, sobrevivencia, especies forrajeras.

Abstract

The objective was to evaluate, over a one-year period, the survival, production, and nutritional value of forage from tree legumes as well as grasses and weeds in a silvopastoral system. A mixed protein bank was established, consisting of two plots: in the first plot, planting orientation was East to West, and in the second, North to South. The planted tree species were leguminous: pata de vaca (*Bauhinia forficata*), albizia (*Albizia lebbeck*), leucaena (*Leucaena leucocephala*), and palo dulce (*Eysenhardtia polystachya*). Three planting densities were used, with tree spacings of 70x70, 90x90, and 110x110 cm. Survival was assessed visually and manually by identifying the species and recording their condition as either alive (1) or dead (0). A three-way classification model with an unequal number of repetitions was used, employing the Generalized Linear Models procedure of the statistical analysis system under a fixed effects model. The nutritional value of the tree legumes ranged from 11% to 18% protein. Differences ($p \leq 0.05$) were observed between treatments and orientation regarding height. There was a significant effect ($p \leq 0.05$) of treatment, orientation, period, and species on foliage production. Differences ($p \leq 0.05$) were found in species survival, with albizia (*Albizia lebbeck*) being notable. The period also significantly influenced ($p \leq 0.05$) tree survival. It is concluded that the survival rate of forage tree legume species determines their capacity to establish silvopastoral systems in a subhumid temperate climate in mixed protein bank arrangements.

Keywords: Mixed protein banks, density, survival, forage species.

INTRODUCCIÓN

Los expertos han reconocido que la ganadería ejerce una creciente presión sobre la tierra, el aire, el agua y la biodiversidad. Por ello es decisivo que promuevan la provisión de servicios ecosistémicos en favor de la protección ambiental. En este contexto, la implementación de tecnologías silvopastoriles ha sido propuesta como una solución efectiva en las últimas décadas. Estas tecnologías han demostrado mejora la eficiencia del uso de la tierra, mitigar los efectos negativos de la producción pecuaria sobre la biodiversidad, los ecosistemas y el calentamiento global. Además, contribuyen a incrementar la eficiencia del ganado al mejorar la calidad del alimento disponible para los animales (Palma-García *et al*, 2010).

Otro de los grandes problemas que afronta la ganadería es la variabilidad de la cantidad y calidad del forraje a través del año, lo que repercute negativamente en los parámetros productivos y reproductivos del ganado y finalmente impacta en la eficiencia productiva del sistema en cuestión; ante esta situación, los sistemas silvopastoriles (SSP), también han demostrado mediante la eficiencia en la producción de follaje de especies arbóreas que pueden ser una alternativa alimenticia, debido a que diferentes árboles y arbustos tienen un potencial nutricional como forraje de calidad, es decir, alto contenido de proteína comparado con las gramíneas y alto rendimiento de biomasa (Sosa-Rubio *et al*, 2004).

Es importante el considerar que México posee una gran diversidad ecosistémica con variedad de climas, consecuentemente diversidad y abundancia de especies vegetales adaptadas a las condiciones climáticas de cada región, las cuales tienen un alto valor biológico debido a las características nutricionales y a los diversos beneficios que aportan al ambiente (Sosa-Rubio *et al,* 2004). Entre estas los árboles forrajeros son una gran opción, entre los que se encuentran adaptados a climas templados subhúmedo se tienen; *Albizia lebbeck*., *Eysenhardtia polystachya*, *Bauhinia forficata* y *Leucaena leucocephala*.; apreciadas como leguminosas arbóreas con alto potencial forrajero para ser incorporadas a los SSP, ya sea en bancos de proteína o en asociación con otros cultivos (Febles y Ruiz, 2008).

En cualquiera de sus modalidades los SSP son sistemas agroforestales (SAF), conformados por animales, suelo y por especies herbáceas y leñosas asociadas, las cuales además de proveer de alimento como forraje y frutos de calidad, proveen confort con su sombra a los animales; además, ofrecen beneficios ambientales como la captura de carbono, así como protección y mejora del suelo (Simón, 1997).

Uno de los SSP utilizados para proveer alimento de alta calidad nutricional a los pequeños y grandes rumiantes, es la modalidad de bancos de forrajes mixtos conformados por dos o más especies de leguminosas arbóreas o arbustivas, los estudios realizados se han enfocado a la parte aérea (biomasa foliar) de las plantas; sin embargo, es igualmente importante el estudio de las interacciones entre las especies dentro de estos sistemas, así como entre individuos, que están en función de la disponibilidad de recursos en el medio para su crecimiento, los requerimientos específicos, las características morfológicas de los componentes, la densidad de plantas, el arreglo espacial y el manejo utilizado, son además otros factores muy importantes que pueden influir sobre el grado de interacción entre ellos (Casanova-Lugo *et al*., 2010).

De acuerdo con Febles y Ruiz (2008), otras características de importancia que deben de presentar los árboles para ser evaluados y poder introducirlos a los sistemas silvopastoriles son; la supervivencia, el crecimiento, la resistencia al ataque de plagas y la aceptación de los animales, como medidas relevantes. A partir de estos criterios es posible inferir la resistencia de estas plantas al estrés ambiental y la facilidad de adaptarse a la presión ambiental estas mediciones requieren ser valoradas en su dimensión espacio-tiempo.

Una de las alternativas para resolver el problema de la alimentación de ganado, es el uso de especies leñosas forrajeras las cuales han demostrado tener buena calidad y poseen características adecuadas para la alimentación de ganado mayor y menor, entre éstas propiedades tenemos: que son variedades de alto valor nutritivo, con alta digestibilidad y palatabilidad para los animales, algunas de estas especies son: leucaena *(Leucaena leucocephala)* albizia (*Albizia lebbeck),* palo dulce (*Eysenhardtia polystachya)*, y pata de vaca (*Bauhinia forficata)*; por lo que se hace necesario realizar estudios para determinar su valor nutricional, la producción de biomasa y sobrevivencia en condiciones climáticas y edafológicas diferentes (Moreno-López, 2005); especialmente en condiciones de clima templado ya que la mayoría de los estudios de establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles se han realizado bajo condiciones de trópico húmedo y seco (Aguirre *et al*., 2013; Murgueitio *et al*., 2015 y González-Valdivia *et al*., 2016). Por lo anterior, el propósito del presente trabajo fue evaluar: la supervivencia, el crecimiento, el desarrollo, la densidad, la orientación de plantación, así como el valor nutricional de las referidas especies arvenses que conforman un banco de proteína mixto en clima templado subhúmedo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento

Esta investigación se realizó dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico del Valle de Morelia (ITVM) cuya localización geográfica es al Norte del estado de Michoacán, entre las coordenadas 19º 48’ de latitud Norte y 101º 10’ de longitud Oeste, a una altura de 1860 m.s.n.m., así como con una dominancia de clima templado, presenta una temperatura que oscila entre los

12°C y 18°C. Los suelos se desarrollan sobre rocas volcánicas, piroclasticas (ignimbritas) que forman tobas con diferentes grados de dureza, descansan sobre fragipán presentando una profundidad variable desde 33 - 95 cm, presentan una textura correspondiente a las arcillas de partícula tipo 1 y 2, teniendo un solo horizonte en aquellos con profundidad mayor a 38 cms (horizonte mollico) y tres horizontes en aquellos con profundidad de 95 cms (horizonte vértico). Presentaron valores de punto de saturación de humedad de 60% lo que sugiere un nivel alto de almacenamiento de agua. La capacidad de campo (CC) está a 18,6% y el punto de marchitez permanente (PMP) a 9,3%, con agua disponible para plantas de 9,3%, la densidad aparente del suelo (DAP) es de 1,09 y la de partículas de 2,3 gramos /cm^3, la porosidad del suelo es de 52,2% lo que indica buena aireación de los suelos y el pH es neutro (6,8) lo que favorece la absorción de nutrientes. El contenido de materia orgánica (MO) 1,97% que representa un contenido de carbón orgánico de 1,14%. (Nuncio-Ochoa *et al*., 2024).

Preparación del terreno

La parcela experimental se estableció en una superficie total de 912 m^2 que posteriormente se dividió en dos parcelas con diferente orientación, este a oeste de 358 m^2 y norte a sur de 554 m^2, en la terraza número 54 ubicada dentro de la unidad de producción ovina y caprina, en un suelo con predominancia de textura arcillosa.

Trazo de parcelas

Se emplearon tres marcos reales de plantación utilizando cinta métrica de 100 m, en donde se consideró una distancia de 70 x 70 cm (T1), 90 x 90 cm (T2) y 110 x 110 cm (T3) entre árbol y árbol, en dos parcelas con diferente orientación, fueron divididas con malla graduada borreguera de acero a una altura de 1,67 m.

Establecimiento del cultivo

Se estableció un banco de proteína mixto, conformado por árboles aproximadamente de un año de edad de las especies leguminosas conocidas como: pata de vaca *(Bauhinia forficata.)*, albizia *(Albizia lebbeck.)*, leucaena *(Leucaena leucocephala)* y palo dulce *(Eysenhardtia polystachya),* a través de la plantación directa a una profundidad de 25 cm con un total de 1153 árboles.

Tratamientos evaluados

Los tratamientos (Cuadro 1) se conformaron con tres diferentes densidades de plantación, establecidas para determinar la producción de biomasa de las cuatro especies de leguminosas forrajeras por hectárea:

Cuadro 1. Tratamientos evaluados y densidad de siembra.

Tratamiento	Marco real de plantación[1]	Densidad[2]
1	70 x 70	20 408
2	90 x 90	12 346
3	110 x 110	8264

[1]cms, [2]árboles/Ha

Instalación y manejo del sistema de riego

Es vital contar con la disponibilidad de agua para el riego especialmente en época de estiaje para la supervivencia de las plántulas; se adecuaron tomas de agua proveniente de una fuente de abastecimiento permanente, como en este caso se contó con una olla de agua, alimentada mediante el bombeo de pozo profundo, ubicada aproximadamente a 200 m del área de trabajo. Los primeros ocho meses del establecimiento, es decir de enero a agosto 2019, el riego fue manual mediante mangueras y posteriormente en el mes de septiembre del mismo año se diseñó e instalo la infraestructura de un sistema de riego por aspersión con capacidad de un kilogramo de presión, con filtros de anillo, con tubería de PVC hidráulico y 4 aspersores, sistema que facilito el riego de forma automática, siendo esta alternativa la más adecuada para mantener los riegos necesarios.

Variables evaluadas

Altura de la planta: Se registró la altura en centímetros (cms.), se midió con un flexómetro desde la base de la planta hasta el ápice. Diámetro del tallo: para el grosor de tallo, se midió con un vernier el diámetro en milímetros (mm) a 2 cm, de altura partiendo del nivel del suelo. Número de hojas y número de ramas se cuantificaron de manera visual y análisis bromatológico convencional sobre las variables señaladas en el cuadro 2.

Cuadro 2. Características nutricionales de cuatro especies arbóreas forrajeras y mezcla de gramínea con arvenses del SSP.

Nombre científico	*Leucaena* leucocephala	*Albizia Lebbeck*	*Eysenhsrthdtia polystachia*	*Bauhinia forficata*	Mezcla de gramíneas con arvenses
Materia seca (%)	46,95	47,18	59,10	47,29	53,65
Proteína Cruda (%)	17,39	18,36	15,75	11,38	7,52
Extracto Etéreo (%)	5,82	4,61	7,73	4,24	4,15
Cenizas (%)	7,01	5,68	7,47	6,91	12,18
Fibra Cruda (%)	13,86	17,52	19,72	20,81	20,98
Extracto Libre de Nitrógeno (%)	55,92	53,83	49,34	56,66	55,16
Total de Nutrientes digestibles (%)	73,70	72,24	74,33	70,03	65,91
Energía Digestible Kcal/kg	3249,32	3185,3	3277,02	3087,82	2906,13
Energía Metabolizable kcal/kg	2664,16	2611,45	2531,75	2686,88	2383,78

Diseño experimental

Para la comparación de los sistemas de asociación de leguminosas forrajeras en diferentes densidades y orientación (tratamientos) se utilizó un modelo para un experimento a tres vías de clasificación con desigual número de repeticiones usando el procedimiento lineal general del sistema de análisis estadístico (SAS), bajo un modelo de efectos fijos (SAS/STAT, 2012).

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + o_j + p_k + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

y_{ijk}= una observación de la variable respuesta
μ = media que representa a la población
t_i = Efecto fijo del i-esimo tratamiento i= 1,2,3
o_j = Efecto fijo del j-esima orientación j=1,2
p_k= Efecto de la estación k=1,2
Error aleatorio asociado a cada observación $\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características nutricionales de las leguminosas forrajeras, gramíneas y arvenses del banco de proteína mixto y pradera

Las cuatro especies de árboles leguminosos forrajeros (Cuadro 2) utilizadas en el establecimiento de los diferentes arreglos del banco de proteína mixto; Eysenhardtia *polystachya*, *Bauhinia forficata*, *Albizia lebbeck* y *Leucaena leucocephala* se encuentran entre los rangos de proteína y fibra reportados para las leguminosas arbóreas recomendadas para rumiantes, los cuales varían de 12 al 28% de proteína y fibra menor al 40% (Norton, 1994; Sosa-Rubio *et al*, 2004 y Aguirre *et al*., 2013). Se destaca la *Albizia,* por su mayor contenido de proteína y la *Bauhinia forficata* con el menor contenido de proteína cruda, ésta última en comparación a la composición de la pradera nativa en donde pastorean los ovinos, que es una mezcla de gramíneas con arvenses, se observó con un mayor valor proteico (3,9%). Es importante señalar que de acuerdo con Norton (1994), las leñosas arbóreas o arbustivas con valores menores al 8% de PC son consideradas deficientes, ya que no proveen el mínimo de los niveles de amonio requerido por los rumiantes. Por lo tanto, tres de las cuatro especies analizadas presentaron niveles de PC superiores a los requerimientos para ovejas en lactación 12,0% (National Research Council, 2007). Por otra parte, se destaca el contenido más bajo de proteína de los forrajes analizados (7,5%) y el mayor contenido de fibra con casi el 30% que corresponde a la mezcla de gramíneas con arvenses que conforman el banco de proteína, aunque estos niveles eran de esperarse es importante resaltar lo mencionado por Sosa-Rubio *et al* (2004), en donde indican que varios estudios coinciden en que el follaje de los árboles forrajeros posee una calidad nutricional superior, en comparación con los pastos y que ésta calidad no se afecta tanto por los cambios estacionales, a diferencia de los monocultivos de pastos que reducen dramáticamente su producción de biomasa en condiciones de sequía.

Medias de mínimos cuadrados sobre la altura

Se observaron diferencias ($p \leq 0,05$) en la altura para las plantas; al emplear la densidad de 8264 plantas/hectárea la altura fue mayor obteniendo 91,21 cm y se distinguió (Cuadro 3) significativamente de las densidades restantes; De acuerdo con Páez (1991), la luz influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas de varias maneras, según su calidad, intensidad y duración; el uso de altas densidades de siembra trae consigo problemas relacionados con la competencia dentro del cultivo, por lo que al final del ciclo las plantas tienen un menor crecimiento.

Cuadro 3. Medias de mínimos cuadrados para el tratamiento sobre la altura

Densidad de plantación (Plantas/ha)	$\bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}$
20, 408	61,62 ± 32[a]
12, 346	91,21 ± 31[a]
8, 264	169,63 ± 27[b]

Literales a, b son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$)

Se observaron diferencias ($p \leq 0,05$), con respecto a la orientación norte-sur (Cuadro 4) la cual obtuvo 81,64 cm más sobre la altura de la planta que la orientación este-oeste. La orientación norte-sur influyo en el crecimiento de las plantas debido al exceso de humedad del suelo en la orientación este-oeste, probablemente el exceso de humedad afectó directamente el crecimiento radicular inhibiendo el crecimiento de las plantas. Cabe señalar que en la orientación este-oeste se localizó una boca de tormenta razón por la cual presentó mayor humedad por captación de agua de lluvia.

Cuadro 4. Medias de mínimos cuadrados para la orientación sobre la altura

Orientación	$\bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}$
Este-oeste	66,67 ± 32[a]
Norte-sur	148,31 ± 25[b]

Literales *a, b* son estadísticamente diferentes ($P \leq 0,05$)

El periodo no influyó ($P \geq 0,05$), sobre la altura de las plantas (Cuadro 5). Los periodos en los cuales se llevó a cabo las mediciones de las variables a medir fueron primavera y verano en donde no hay diferencia entre estos dos; sin embargo, datos registrados de la Comisión Nacional del Agua (2020), muestran que en el mes de julio 2019 se obtuvo 178,4 mm, de precipitación más que en el mes de abril del mismo año, mientras que la temperatura promedio entre los dos periodos fue de 22,05°C., Por otra parte Castro-Rivera *et al*. (2012) indican que la altura de la asociación 40:30:30 (trébol blanco: ovillo: ballico perenne) en verano se obtuvo la

mayor altura (26 cm), que superó en 17, 142 y 137% a las de primavera, otoño e invierno, respectivamente.

Cuadro 5. Medias de mínimos cuadrados para el periodo sobre la altura

Periodo	$\bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}$
Abril	131,07 ± 25[a]
Julio	83,90 ± 26[a]

Literales *a* son estadísticamente iguales (P ≥ 0,05)

Medias de mínimos cuadrados sobre el follaje

La densidad baja (8, 264 árboles/ha) influyó (P ≤ 0,05) con 48% mayor número de follaje (Cuadro 7) en comparación con las densidades media y alta. Según Niñirola (2010), al aumentar la densidad de plantación, se genera una fuerte competencia intraespecífica y una limitada capacidad competitiva.

La orientación norte-sur produjo un 29% más de follaje en las plantas (Cuadro 8) en comparación con la orientación este-oeste. Sin embargo, Ayala-Bermúdez (2012) menciona que la orientación de la siembra debe realizarse de acuerdo con la trayectoria del sol (este a oeste) para evitar el exceso de sombra en los entresurcos. En este estudio, también se observó un aumento en la mortalidad de árboles en la orientación este-oest, este fenómeno se atribuye al exceso de humedad causado por el drenaje de la boca de tormenta, lo cual podría haber afectado negativamente la producción de follaje.

Cuadro 7. Medias de mínimos cuadrados para evaluar la producción de follaje cuatro especies arbóreas forrajeras, da la densidad de siembra/ha.

Plantas/ha	$\bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}$
20, 408	43,91 ± 12[a]
12, 346	65,32 ± 11[a]
8, 264	102,35 ± 10[b]

Literales *a, b* son estadísticamente diferentes (P ≤ 0,05)

Cuadro 8. Medias de mínimos cuadrados para la orientación sobre el follaje.

Orientación	$\bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}$
Este-Oeste	53.91 ± 12[a]
Norte-Sur	87.15 ± 9[b]

Literales *a, b* son estadísticamente diferentes (P ≤ 0,05)

Durante el periodo de primavera, se produjo un 35% más de follaje en las plantas en comparación con el periodo de verano (ver Cuadro 9). Según Chinchilla (2009), en primavera se inicia el crecimiento de las hojas y los vástagos, lo que resulta notable la abundancia del follaje.

Cuadro 9. Medias de mínimos cuadrados para el periodo sobre el follaje

Periodo	$\bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}$
Abril	87,93 ± 9[a]
Julio	53,12 ± 9[b]

Literales *a, b* son estadísticamente diferentes (P ≤ 0,05)

El promedio de producción de follaje varió entre las especies leñosas estudiadas (Cuadro 10). Las especies de albizia y palo dulce produjeron follaje similar entre sí y un 75,9% más que las otras dos especies. En cambio, pata de vaca y leucaena mostraron una producción de follaje parecida. Esto contrasta con lo encontrado por Fernández (2015), quien observó diferencias significativas (p>0.05) en la producción de follaje de leucaena con un rango de 23,94 a 24,72 hojas por planta.

Cuadro 10. Media de mínimos cuadrados para la especie sobre el follaje

Especie	$\bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}$
Pata de cabra	27,76 ± 8[a]
Albizia	108,14 ± 24[b]
Leucaena	37,34 ± 14[a]
Palo dulce	108,88 ± 15[b]

Literales *a, b* son estadísticamente diferentes (P≤0.05)

Medias de mínimos cuadrados sobre la ramificación

La densidad baja (8264 plantas/ha) mostró una ramificación significativamente mayor (P ≤ 0,05) en comparación con las densidades media y alta, con un 46% más de ramificaciones (ver Cuadro 11). En contraste, Razz y Clavero (1995), encontraron que el número de ramificaciones de *Gliricidia sepium* no se vio afectado por densidades de 10000, 5000 y 2500 plantas/ha.

Cuadro 11. Medias de mínimos cuadrados para el tratamiento sobre la ramificación.

Plantas/ha	$\bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}$
20, 408	5,52 ± 2[a]
12, 346	5,27 ± 2[a]
8, 264	12,51 ± 1[b]

Literales *a, b* son estadísticamente diferentes (P≤0.05)

La orientación no tuvo un efecto significativo (P ≥ 0,05) sobre la ramificación de las plantas (ver Cuadro 12). En contraste, López-Gómez *et al*. (2012), encontraron que en el *Neobuxbaumia tetetzo* la orientación hacia el norte mostró una mayor cantidad de ramas, posiblemente porque desde abajo recibe una cantidad de luz inferior al óptimo.

Cuadro 12. Medias de mínimos cuadrados para la orientación sobre la ramificación.

Orientación	$\bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}$
Este-Oeste	5,64 ± 2[a]
Norte-Sur	9,90 ± 1[a]

Literales *a* son estadísticamente iguales (P ≥ 0,05)

Los dos periodos evaluados,primavera y verano, no tuvieron un efecto significativo (P ≥ 0,05) sobre la ramificación de las plantas (ver Cuadro 13). De manera similar, Aldava (2014) indicó que el número de ramas de *Leucaena leucocephala* no se vio afectado a los 30, 60 y 90 días de evaluación.

Cuadro 13. Medias de mínimos cuadrados para el periodo sobre la ramificación.

Periodo	$\bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}$
Abril	7,61 ± 1[a]
Julio	7,92 ± 1[a]

Literales *a* son estadísticamente iguales (P ≥ 0,05)

En las cuatro especies evaluadas (ver Cuadro 14) no se encontraron diferencias significativas (P ≥ 0,05) en la ramificación de las plantas. Es probable que factores como la distancia entre plantas o la presencia de otras gramíneas en el sistema silvopastoril hayan influido (Ramos-Quirarte *et al*., 2009; Iraola *et al*., 2012). Por otro lado, Fernández (2015) señala que, a los 90 días, Leucaena mostró un mayor crecimiento en combinación con pasto estrella, posiblemente debido a la menor competencia por espacio, humedad y nutrientes proporcionada por el pasto estrella que crece de manera rastrera. Sin embargo, a los 120 y 150 días, no se observaron diferencias en la asociación utilizada sugiriendo que, a medida que aumenta la competencia por estos factores, el crecimiento de las plantas se vuelve similar.

Cuadro 14. Media de mínimos cuadrados para la especie sobre la ramificación

Especie	$\bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}$
Pata de cabra	10,12 ± 1[a]
Albizia	4,61 ± 4[a]
Leucaena	8,11 ± 2[a]
Palo dulce	8,23 ± 2[a]

Literales *a* son estadísticamente iguales (P ≥ 0,05)

Medias de mínimos cuadrados sobre el diámetro

Las tres diferentes densidades no tuvieron un efecto significativo (P ≥ 0,05) sobre el grosor de las plantas (ver Cuadro 15). Sin embargo, Anguiano *et al*. (2012) informan que, en *Leucaena leucocephala*, la densidad alta la variable diámetro del tallo mostró el valor más alto (1,27 cm) en la densidad alta de 80,000 árboles/ha^{-1}mostró el mayor diámetro del tallo, con un valor de 1,27 cm; En contraste, Ordoñez (2019) encontró que, para moringa oleífera, la mejor densidad de siembra fue la baja, de 5,000 árboles/ha, que mostró el mayor diámetro del tallo de 3,4 cm.

Cuadro 15. Medias de mínimos cuadrados para el tratamiento sobre el diámetro

Plantas/ha^{-1}	$\bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}$
20, 408	1,42 ± 0,1[a]
12, 346	1,48 ± 0,1[a]
8, 264	1,74 ± 0,1[a]

Literales *a* son estadísticamente iguales (P ≥ 0,05)

Los periodos Abril y julio del no tuvieron un efecto significativo (P ≥ 0,05) sobre el diámetro basal de las plantas (ver Cuadro 16). Sin embargo, Petit *et al*. (2011) informan que, en los arreglos asociados, el mayor diámetro basal de Guazuma *ulmifolia* se observó con *Leucaena leucocephala* en los meses de julio y octubre, durante laépoca de lluvias.

Cuadro 16. Medias de mínimos cuadrados para el periodo sobre el grosor

Periodo	$\bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}$
Abril	1,55 ± 0,1[a]
Julio	1,55 ± 0,1[a]

Literales *a* son estadísticamente iguales (P ≥ 0,05)

La especie palo dulce fue un 0,54% menos gruesa (P ≥ 0,05) en comparación con pata de cabra, Albizia y leucaena respectivamente (ver Cuadro 17). En cuanto a la orientación Norte-Sur tuvieron un grosor mayor (P ≤ 0,05), con 0,65 cm más que las orientadas Este-Oeste (Cuadro 18). No se encontró literatura que respalde estos resultados.

Cuadro 17. Medias de mínimos cuadrados para las especies sobre el grosor

Especies	$\bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}$
Pata de cabra	1,83 ± 0,1[a]
Albizia	1,65 ± 0,3[a]
Leucaena	1,57 ± 0,2[a]
Palo dulce	1,14 ± 0,2[b]

Literales *a, b* son estadísticamente diferentes (P ≤ 0,05)

Cuadro 18. Medias de mínimos cuadrados para la orientación sobre el grosor.

Orientación	$\bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}$
Este-Oeste	1,22 ± 0,1[a]
Norte-Sur	1,87 ± 0,1[b]

Literales *a, b* son estadísticamente diferentes (P ≤ 0,05)

Medias de mínimos cuadrados sobre la supervivencia

En un arreglo de banco de proteína con tres diferentes densidades de plantación, las leguminosas arbóreas no mostraron diferencias significativas (P ≥ 0,05) en la supervivencia según el marco de plantación (ver Cuadro 19). Estos resultados coinciden con los de Navas *et al*. (2000), quienes tampoco encontraron diferencias en la supervivencia entre densidades de 10000, 20000 y 40000 plantas/ha.

Cuadro19. Medias de mínimos cuadrados para la densidad sobre la supervivencia.

Plantas/ha	$\bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}$
20, 408	75 ± 2[a]
12, 346	72 ± 2[a]
8, 264	78 ± 2[a]

Literales *a* son estadísticamente iguales (P≥0.05)

Las dos orientaciones (ver Cuadro 20) dno tuvieron un efecto significativo (P ≥ 0,05) sobre el porcentaje de supervivencia de las plantas.

Cuadro 20. Medias de mínimos cuadrados para la orientación sobre la supervivencia.

Orientación	$\bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}$
Este-Oeste	75 ± 2[a]
Norte-Sur	75 ± 2*a*

Literales *a* son estadísticamente iguales (P ≥ 0,05)

En los análisis de supervivencia de las cuatro especies de leguminosas arbóreas forrajeras (ver Cuadro 21), se destaca la albizia *(Albizia lebbeck)* como la especie con el mayor porcentaje de supervivencia, con un 31% más que las otras. Por otro lado, la pata de cabra (*Bauhinia* forficata) mostró la menor supervivencia. Según Téllez (1998), la taza de supervivencia de una especie es crucial para su éxito como planta exótica en condiciones edafoclimaticas extremas. Una alta tasa de supervivencia contribuye directamente a la conservación y recuperación de suelos en áreas deforestadas, tanto en zonas desérticas como húmedas. Por otro lado, Centeno *et al*. (1994) utilizan cuatro parámetros para evaluar la supervivencia en arboles: 80-100% es calificado como "Muy bueno"; 70-80% como "Bueno"; 40-70% como "Regular", y menos del 40% como "Mala". Según esta clasificación, de las especies estudiadas, *Bauhinia forficata* y *Leucaena leucocephala* se consideran con un asupervivencia "Regular, *Eysenhardtia polystachya* se califica como "Buena", y *Albizia lebbeck* tiene una supervivencia "Muy buena".

Cuadro 21. Media de mínimos cuadrados para la especie sobre la sobrevivencia.

Especie	$\bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}$
Pata de cabra	55 ± 1[a]
Albizia	98 ± 5[b]
Leucaena	67 ± 2[c]
Palo dulce	79 ± 3[d]

Literales *a, b, c y d* son estadísticamente diferentes (P ≤ 0,05)

El periodo de primavera mostró un aumento del 28% en la tasa de supervivencia (según el Cuadro 22) en comparación con el verano y d invierno del mismo año. Este incremento podrá estar relacionado con la coincidencia de la primavera con la temporada de lluvias, que podría haber favorecido las condiciones de supervivencia.

Cuadro 22. Medias de mínimos cuadrados para el periodo sobre la sobrevivencia.

Periodo	$\bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}$
Abril	93 ± 2[a]
Julio	62 ± 2[b]
Enero	69 ± 2[c]

Literales *a, b y c* son estadísticamente diferentes (P ≤ 0,05)

CONCLUSIONES

En conclusión, el déficit hídrico durante la época de estiaje en el altiplano michoacano afecta significativamente la calidad nutritiva y la producción de biomasa de las praderas nativas, lo que lleva a una alimentación deficiente y baja productividad en las unidades de producción ovina y en el Instituto Tecnológico del Valle de Morelia. Para contrarrestar estos efectos, la implementación de bancos de proteína con leguminosas arbóreas forrajeras surge como una solución efectiva. Esta estrategia no solo mejora la cantidad y calidad de la dieta del ganado, sino que también permite aprovechar los recursos disponibles en la propia parcela, contribuyendo a una mayor sostenibilidad y eficiencia del sistema productivo

La Albizia lebbeck y la Eysenhardtia polystachya demostraron una mayor producción de follaje en comparación con otras especies. Esto confirma que la utilización de un banco de proteína mixto, compuesto por leguminosas arbóreas forrajeras, mejora la productividad de follaje en los agroecosistemas. La asociación de estas leguminosas arbóreas contribuye significativamente a la optimización de los recursos forrajeros, lo cual puede ser beneficioso para la alimentación del ganado y la sostenibilidad del sistema.

La supervivencia de las cuatro especies de leguminosas forrajeras estudiadas (*Leucaena leucocephala*, *Eysenhardtia polystachya*, *Albizia lebbeck* y *Bauhinia forficata*) fue destacada y de éstas la *Albizia lebbeck* mostró mayor adaptación a las condiciones edafoclimaticas y con ello se manifiesta como una especie exótica ampliamente adaptada a la zona de estudio.

La densidad de siembra baja favoreció un mayor número de hojas y ramificación, posiblemente debido a la menor competencia entre las raíces. Sin embargo, el grosor del tallo y la supervivencia de las especies no se vieron afectados por esta variación en la densidad de siembra.

La tasa de sobrevivencia de las especies de leguminosas arbóreas forrajeras determina su capacidad para adaptarse y establecerse en sistemas silvopastoriles, especialmente en arreglos de bancos de proteína mixtos en climas templados subhúmedos.

LITERATURA CITADA

Aguirre-O., J., Loya-O., L., Gómez-D., A., Martínez-G., S., Ulloa-C., R., Escalera-V., F., Valdés-García, Y., Gómez-G., A. y Carmen-Ramírez, R. 2013. La contribución del sector pecuario a la seguridad alimentaria en México (1.a ed.). Fernando-Casanova-Lugo.

Anguiano, J. M., Aguirre, J. y Palma, J. M. 2012. Establecimiento de Leucaena leucocephala con alta densidad de siembra bajo cocotero (*Cocus nucifera*). Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 46(1):103–107. https://www.redalyc.org/pdf/1930/193024313017.pdf

Ayala-Bermúdez, W. 2012. Establecimiento de un banco de proteínas mediante la asociación de gramíneas y leguminosas (*leucaena leucocephala, glicinia*, y hierba de guinea) para la ceba del ganado bovino (Mestizo Cebú) en la UBPC. [TRABAJO DE DIPLOMA]. Repositorio Institucional - Universidad de Holguín.

Aldava Navarro, J. 2014. Crecimiento de *Leucaena leucocephala* asociada con *Panicum maximum* y *Brachiaria brizantha* en condiciones semicontroladas. [Informe Técnico de Residencia Profesional]. Repositorio Institucional - Instituto Tecnológico de la Zona Maya.

Casanova-Lugo, F., Ramírez-Avilés, L. y Solorio-Sánchez, F. J. 2010. Efecto del intervalo de poda sobre la biomasa foliar y radical en árboles forrajeros en monocultivo y asociados. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 12(3):657–665. https://www.redalyc.org/pdf/939/93915170023.pdf

Castro-Rivera, R., Hernández Garay, A., Vaquera Huerta, H., de la Paz Hernández Girón, J., Quero Carrillo, A. R., Enríquez Quiroz, J. F. y Martínez Hernández, P. A. 2012. Comportamiento productivo de asociaciones de gramíneas con leguminosas en pastoreo. Revista fitotecnia mexicana, 35(1):87–95. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802012000100012

Centeno Solórzano, M., Herrera A., Z. y Guatemala, M. 1994. Inventario nacional de plantaciones forestales en Nicaragua. Serie silvicultura. Nota técnica (Nicaragua), 1(43):23. https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=NI2006004734

Chinchilla García, A. B. 2009. Catálogo de plantas aplicadas en la arquitectura Guatemalteca. [TRABAJO DE DIPLOMA]. Repositorio Institucional - Universidad de San Carlos de Guatemala.

Comisión Nacional del Agua. 2020. Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia. Servicio Meteorológico Nacional. Recuperado 16 de septiembre de 2021, de https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias

Febles, G. y Ruiz, T. E. 2008. Evaluación de especies arbóreas para sistemas silvopastoriles. Avances en investigación agropecuaria, 12(1):4–27. http://bvirtual.ucol.mx/descargables/433_evaluacion_de_especies_arboreas.pdf

Fernández Gómez, A. A. 2015. Evaluación de los principales parámetros en crecimiento de área foliar y biomasa producida de *Leucaena leucocephala* asociada con dos diferentes tipos de gramíneas en la zona sur de Quintana Roo. [Informe Técnico de Residencia Profesional]. Repositorio Institucional - Instituto Tecnológico de la Zona Maya.

González-Valdivia, N. A., Casanova-Lugo, F. y Cetzal-Ix, W. 2016. Sistemas agroforestales y biodiversidad. Revista Agroproductividad, 9(9):56–60. https://core.ac.uk/download/pdf/249320602.pdf

Iraola, J., Muñoz, E., García, Y., Hernández, J. L. y Moreira, E. 2012. Intercalamiento de maíz (*Zea mays*) en un sistema silvopastoril de *Brachiaria híbrido* vc. Mulato y *Leucaena leucocephala* vc. Perú. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 46(3):309–314. https://www.redalyc.org/pdf/1930/193025294014.pdf

López-Gómez, V., Zedillo-Avelleyra, P., Anaya-Hong, S., González-Lozada, E. y Cano-Santana, Z. 2012. Efecto de la orientación de la ladera sobre la estructura poblacional y ecomorfología de *Neobuxbaumia tetetzo* (cactacea). Botanical sciences, 90(4):453–457. https://www.researchgate.net/publication/263672327_Efecto_de_la_orientacion_de_la_ladera_sobre_la_estructura_poblacional_y_ecomorfologia_de_Neobuxbaumia_tetetzo_Cactaceae

Moreno-López, J. C. 2005. Evaluación de la producción de forraje de *Moringa oleífera* (Lam), *Cnidoscolus aconitifolium* (Mill) L.M. Johnst y *Leucaena leucocephala* (Lam) de wit, para banco proteico en Pacora, San Francisco Libre, Managua. [Trabajo de diploma]. Universidad Nacional Agraria Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente.

Murgueitio, E., Montagnini, F., Somarriba, E., Fassola, H. y Eibl, B. 2015. Sistemas Agroforestales: Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales (1.a ed., Vol. 402). CIPAV. https://www.catie.ac.cr/attachments/article/638/SAF-func-Produc-SocioeconAmb.pdf

Navas, A., Patiño, H., Vargas, J. E., & Estrada, J. 2000. Producción de *Gliricidia sepium* (mataratón) en bancos de alta densidad. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado 15 de octubre de 2021, de

https://www.fao.org/publications/card/es/c/e26433aa-6028-53c2-9804-b8f8229063d6/

National Research Council. 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids (1.a ed.). The National Academies. https://www.nap.edu/catalog/11654/nutrient-requirements-of-small-ruminants-sheep-goats-cervids-and-new

Norton, B. W. 1994. *The nutritive value of tree legumes* (1.a ed.). R. C. Gutteridge and H. M. Shelton. https://www.cabi.org/ISC/abstract/19941400417

Nuncio-Ochoa, M., Gómez Ramos, B., Bobadilla Soto, E. E., Nahed Toral, J., Arriaga Jordán, C. y Roman Bravo, R. 2024. Análisis de la sostenibilidad en los sistemas de producción ovina en el Altiplano de Michoacán. Revista ESPAMCIENCIA 15(1):1-11. https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v15i1.420.

Niñirola Campoy, D. 2010. Influencia de la densidad de plantación en la producción y calidad de cultivos de berro y canónigo en bandejas flotantes para su producción como "baby leaf''. [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Cartagena]. Repositorio Institucional - Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica.

Ordoñez Gerónimo, J. M. 2019. *Efecto de la densidad de siembra sobre el crecimiento de Moringa oleífera lam., en suelos gleisoles aplicos*. [Informe Trabajo de titulación]. Repositorio Institucional - Instituto Tecnológico de la Zona Maya.

Páez, O. 1991. El cultivo de arroz: densidad de siembra, control de malezas y fertilización. FONAIAP Divulga, 36:26–28. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=279375&pid=S0002-192X201100010000200015&lng=es

Palma-García, J. M., Nahed Toral, J.y Sanginés García, L. 2010. Alternativas para una reconversión ganadera sustentable (1.a ed.). México. Universidad de Colima.

Petit Aldana, J., Casanova Lugo, F. y Solorio Sánchez, F. 2011. Rendimiento de forraje de *Leucaena leucocephala, Guazuma ulmifolia y Moringa oleífera* asociadas y en monocultivo en un banco de forraje. Revista Forestal Venezolana, *2*(54):161–167. http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/32522.

Ramos-Quirarte, A., Aguirre, A., Medina, R. F., Camarillo, U. F. J. Y López, L. F. 2009. Evaluación de plantas arbóreas asociadas con pastos para sistemas silvopastoriles en la región central de Nayarit. Revista Computadorizada de Producción Porcina, 16(1):59–63.

Razz, R. y Clavero, T. 1995. Efecto de la densidad de siembra sobre el patrón de crecimiento en *Gliricidia sepium*. Arch. Latinoam. Prod. Anim, *3*(1):11–16.

SAS/STAT Guide for personal computers. 2012. *Statistical Analysis System* (SAS) (9.4) [2012]. SAS/STAT. https://www.sas.com/en_us/software/stat.html

Simón, L. 1997. Resultados obtenidos en la alimentación de bovinos y ovinos con Albizia lebbeck Benth. *VI Encuentro Técnico de la Filial Territorial de ACPA, 1*(33), 187–198. https://biblioteca.ihatuey.cu/link/nuestraspublicaciones/morera.pdf

Sosa-Rubio, E. E., Pérez-Rodríguez, D., Ortega-Reyes, L., y Zapata-Buenfil, G. 2004. Evaluación del potencial forrajero de árboles y arbustos tropicales para la alimentación de ovinos. *Técnica Pecuaria en México,* *42*(2):129–144. https://www.redalyc.org/pdf/613/61342201.pdf

Téllez, I. 1998. Comportamiento en sobrevivencia, crecimiento y producción de biomasa seca de treinta especies forestales bajo condiciones de la zona desa de Azul, La leona, Leon. Facultad de recursos naturales y del ambiente., 1(6

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

TENDENCIAS GENÉTICAS, AMBIENTALES Y FENOTÍPICAS EN UN REBAÑO BRAHMAN DE REGISTRO

GENETIC, ENVIRONMENTAL, AND PHENOTYPIC TRENDS IN A REGISTERED BRAHMAN HERD

Rafael Maria Román Bravo[1], Omar Gerardo Verde Sandoval[2], Benjamín Gómez Ramos[3], Isaías de Jesús Diaz Maldonado[3], Javier Oviedo Boyso[1], Verónica Trujillo Pahua[3]

[1]Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo, Morelia, México.
[2]Facultad de Ciencias Veterinarias Universidad Centra de Venezuela, Maracay, República Bolivariana de Venezuela.
[3]Instituto Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico del Valle de Morelia, Morelia, Michoacán, México

Email: rafael.roman@umich.mx

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo original

Recibido:
26/03/2024

Aceptado:
23/08/2024

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista ESPAMCIENCIA
15(2):16-23

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v15i2.483

Resumen

Con el propósito de estimar las tendencias genéticas, ambientales y fenotípicas para el peso a los 18 meses (P540) en ganado Brahman, se realizó esta investigación con 3558 registros electrónicos de la estación experimental "La Cumaca", perteneciente a la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Central de Venezuela. Las tendencias genéticas se estimaron bajo tres modalidades: a) por medio del doble de la diferencia de las pendientes de regresión estimadas con las medias anuales en la población y la pendiente dentro de padre en años para el carácter; b) usando análisis de regresión ponderada con las medias anuales derivadas del ajuste de modelos con agrupaciones de medios o hermanos completos y c) modelo animal simple. En los modelos se incluyeron los efectos de sexo, año y mes en que se registró el peso y el efecto del padre y de la madre con variantes por la eliminación de ancestros con el propósito de obtener las estimaciones de las tendencias por diferencias en las pendientes de regresión. La tendencia genética según la primera alternativa fue de 1,2614 Kg/año; usando medios hermanos el estimador fue de 3,0308 Kg/año en tanto que al usar agrupaciones de hermanos completos el cambio genético fue de 2,5332 Kg/año. En los tres casos se sobrestima el cambio genético anual de 0.829 Kg/año obtenido vía modelo animal; en referencia a la media de la población para el carácter los cambios son inferiores al 1%. En consecuencia, se sugiere revisar el procedimiento de selección.

Palabras clave: Progreso genético, cambio, peso, método de Smith, regresión.

Abstract

This study aimed to estimate the genetic, environmental, and phenotypic trends for 18-month weight (P540) in Brahman cattle. The research was conducted using 3,558 electronic records from the "La Cumaca" experimental station, part of the Faculty of Veterinary Sciences at the Central University of Venezuela. Genetic trends were estimated using three methods: a) by doubling the difference between the regression slopes estimated with the annual population means and the within-sire slope for the trait over years; b) using weighted regression analysis with the annual means derived from models adjusted with half-sibling or full-sibling groupings; and c) simple animal model. The models included the effects of sex, year and month of weight recording, and the effects of the sire and dam, with variations involving the exclusion of ancestors to obtain trend estimates through differences in regression slopes. The genetic trend according to the first method was 1.2614 kg/year. Using half-sibling groups, the estimate was 3.0308 kg/year, while using full-sibling groups, the genetic change was 2.5332 kg/year. All three methods overestimated the annual genetic change, which was 0.829 kg/year using the animal model. The changes in reference to the population mean for the trait were less than 1%. Consequently, a revision of the selection procedure is suggested.

Keywords: Genetic progress, change, weight, Smith method, regression

INTRODUCCIÓN

Considerable investigación se ha realizado en poblaciones de animales con el objeto de estimar las tendencias en el tiempo para características de interés zootécnico. Sabiendo que el valor fenotípico es $P = G + E$, donde G es el valor genotípico y E es la desviación ambiental; el principio fundamental, es tratar de eliminar uno de los componentes o al menos parte de él y estimar el otro por diferencia de funciones lineales de los componentes del valor fenotípico. Estos cambios pueden ser estimados mediante el uso de costosos experimentos como el realizado en los Estados Unidos usando una línea control, apareada al azar y otra línea sujeta a selección, entonces la diferencia entre las pendientes de regresión en años es un estimador de la tendencia genética (Román *et al.,* 1999).
Un procedimiento simple con datos de campo basado en el hecho de que los machos tengan progenie en años consecutivos, lo cual proporciona una continuidad de los genotipos por medio del cual los cambios pueden ser estimados, fue propuesto en investigaciones con cerdos por Smith (1962). Si la pendiente de regresión lineal de la población en el tiempo refleja el cambio fenotípico y si usando grupos de medios hermanos paternos se elimina el efecto genético del padre con el uso de la regresión intra - semental, con lo cual en el aporte de los medios hermanos al cambio anual solo refleja el aporte de las madres, el doble de la diferencia de ambas pendientes de regresión refleja la tendencia genética para la característica de interés.

Posteriormente, debido a mejoras en las posibilidades computacionales, se introdujeron otros métodos, usando el principio de los cuadrados mínimos y técnicas de absorción Harvey (1960), con el propósito de corregir errores introducidos por factores no genéticos (Burnside y Legates, 1967; Powell y Freeman, 1974). En la actualidad, las mejores estimaciones de los cambios anuales son obtenidas por la vía del modelo animal y sus variantes las cuales dan predicciones de los valores genotípicos directamente con los que se ´pueden estimar las tendencias genéticas con los promedios de los valores genotípicos de cada año, las tendencias ambientales se pueden estimar de las constantes anuales ajustadas por los valores genotípicos y la fenotípica como la suma de las anteriores (Parra-Bracamonte *et al.,* 2007b; Verde, 2016; Dangar *et al.,* 2018).

La respuesta a la selección es el producto de la heredabilidad del carácter y la superioridad de los progenitores Falconer y MacKay (2006), pero esto da el progreso por generación, lo que interesa para acelerar el mejoramiento animal es la tendencia genética anual. Se ha señalado la posibilidad de progreso por selección para el peso a los 18 meses con estimaciones de la heredabilidad en el rango de 0,20 a 0,50 (Manrique, 2004; Parra Bracamonte *et al*., 2007a; Guillen *et al.*, 2012; Arias *et al*., 2013). Los valores publicados para el cambio genético son bajos así se han reportado tendencias genéticas de 0,608 kg/año con media poblacional de 352 kg para la raza Brahman en México, en tanto que en Venezuela el reporte fue de 0,734 kg/año con una media de la población para el carácter de 363,6 Kg (Verde, 2016), en ambos casos el cambio anual representa menos del 1% de las respectivas medias poblacionales.

Lo expuesto anteriormente ha motivado la presente investigación que pretende lograr los siguientes objetivos: a) estimar los componentes de varianza y el índice de herencia para el peso a los 540 días y b) estimar las tendencias genéticas, ambientales y fenotípicas para la misma variable en el ganado Brahman de la estación experimental "La Cumaca".

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó usando los registros electrónicos de la base de datos de la estación experimental "La Cumaca" Dr Ali Benavides Zapata, adscrita a la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Central de Venezuela (UCV), la cual se ubica en el estado Yaracuy, en la zona centro occidental del país (Verde, 2016).

Para este propósito se utilizaron 3558 registros de pesos ajustados a los 540 días (P540) de la progenie de 98 toros y 1296 madres, registrados en el periodo 1970 – 2002, debido a que se eliminaron del análisis aquellos registros provenientes de toros que solo tuvieron progenie en un solo año, con el propósito de tomar como base de comparación el método propuesto por Smith (1962). Este método es simple de usar, los valores esperados para los cambios anuales coinciden con el propuesto posteriormente usando principios de cuadrados mínimos y programas computacionales eficientes (Harvey, 1960; 1990). Sin embargo, en la metodología propuesta por Burnside y Legates (1967) no proscribe la eliminación de padres con progenies en un solo año; esto supone posibilidades de sesgos en los estimadores. En esta investigación solo se usaron los datos de la progenie de los toros con registros en al menos dos años consecutivos y poder de esta forma estimar la regresión intra - padre en años para el P540.

Los animales Brahman de "La Cumaca" son muy apreciados en Venezuela, por su calidad genética, ya que, en la fundación del rebaño se importaron al país toros y hembras de las mejores ganaderías de los Estados Unidos de América. El programa de mejoramiento genético ha estado a cargo de la catedra de genética animal de la UCV, en las fases iniciales la selección estuvo basada en índices de selección por crecimiento y con el advenimiento del modelo animal en las predicciones del mérito genético de los reproductores son basados en el modelo animal. En el citado programa se ha tenido el cuidado de llevar un estricto control reproductivo para mantener en un mínimo los niveles de consanguinidad, asegurando además la

correcta identificación de los progenitores de cada animal Verde (2016).

Métodos estadísticos

En forma explícita el modelo para familias de hermanos completos se presenta a continuación, las variantes usadas se mostrarán posteriormente:

$$y_{ijklmn} = \mu + P_i + M(P)_{j:i} + A_k + E_l + S_m + \xi_{ijkl\tilde{n}n}$$

y_{ijklmn} = registro del peso ajustado a los 18 meses, en el n^{mo} animal, del m^{mo} sexo, nacido en el l^{mo} mes, en el k^{mo} año, procedente del apareamiento de la j^{ma} vaca, con el i^{mo} semental.

$\mu =$ constante común a todas las observaciones, usualmente referida como la media de la población.

P_i = efecto del i^{mo} semental, (i=1, …, 98)

$M(P)_{j:i}$ = efecto anidado de la j^{ma} madre dentro del j^{mo} semental (j=1, …, 1296)

A_k = efecto del k^{mo} año del registro del P540, (k= 1970, … 2002)

E_l = efecto del l^{mo} mes de efectuado el registro (l= 6, …, 12)

S_m = efecto del m^{mo} sexo del animal (m=0,…1), para hembras y machos respectivamente.

$\xi_{ijkl\tilde{n}n}$ = efecto de los factores no controlados en la investigación sobre las unidades experimentales usualmente referido como residual.

No se realizó intento de incluir el efecto de la interacción año por meses por cuanto en la estación experimental se tiene definida una temporada de montas de manera que los partos se concentran en los meses de julio a diciembre de cada año por razones de manejo. Se ajustaron cuatro modelos saber: en el modelo I, se incluyeron los efectos de sexo, año y mes en que se registró el peso y el efecto del padre; el modelo II fue similar pero el efecto de padre fue excluido; bajo estas condiciones se supone que las medias anuales según el modelo I contienen los cambios ambientales más la mitad de los efectos genéticos aditivos, dado por la contribución de la hembra con la cual se apareó el semental, en tanto que las correspondientes al modelo II, contiene los cambios fenotípicos, en consecuencia, el doble de la diferencia de las pendientes de regresión según ambos modelos, permite obtener una estimación de la tendencia genética; la tendencia fenotípica se estimó directamente de la pendiente de regresión en año según el modelo II y la tendencia ambiental por diferencia. Así mismo, se obtuvo siguiendo el mismo procedimiento las tendencias genéticas usando un modelo III, similar al I, con la diferencia de que se incluyeron los efectos del padre y la madre anidada dentro del primero. Al incorporar los efectos de ambos progenitores se presentó un problema grave de confusión en los efectos de años debido a la desigualdad en el número de observaciones, razón por la cual se decidió introducir el efecto de año como una variable continua lineal, de esta manera y para tener similitud en el procedimiento de análisis se decidió ajustar un modelo IV, similar al modelo I con la diferencia que el efecto de año se introdujo en forma continua. Bajo estas condiciones la diferencia entre las pendientes de regresión usando las medias anuales según los modelos IV y III proporciona directamente un estimador del cambio genético anual (Burnside y Legates, 1967). Los análisis se realizaron con el Procedimiento para Modelos Mixtos, para la estimación de los componentes de varianza vía Máxima Verosimilitud Restringida (REML), los análisis de regresión fueron realizados con el Procedimiento Lineal General del Sistema de Análisis estadístico SAS (2015). Finalmente para propósitos de predicciones de valores genéticos y estimación de componentes de Varianza se utilizó el programa WOMBAT de Meyer (2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 1 se presentan los componentes de varianza para padres y el residual estimados por medio de un intervalo de confianza del 95% para familias de medios hermanos paternos bajo REML, SAS (2015). La correlación intraclase entre miembros de este grupo familiar sugiere que el 21,22% de la variabilidad total es de naturaleza genética aditiva existiendo por lo tanto posibilidades de progreso genético implementando planes de selección eficientes en machos y hembras del rebaño, el valor encontrado es similar al reportado por Parra-Bracamonte *et al.*, (2007a) para la misma raza en México, pero considerablemente inferiores a los publicados previamente en el rango entre 28-50% en otras poblaciones (Manrique, 2004; Guillen *et al.*, 2012; Arias *et al.*, 2013).

Cuadro 1. Estimadores por Máxima Verosimilitud Restringida de los componentes de varianza, y proporciones del total, para el peso a los 540 días en ganado Brahman de la estación experimental "La Cumaca"

		Intervalo de Confianza 95%		
	Comp.	Lím. Inf.	Lím. Sup.	Prop.
Padre	49,12	32,04	84,73	0,0528
Error	880,75	840,49	923,98	0,9472
Total	929,87			

Comp.= componente de Varianza; Prop.=proporción del total

El relativamente bajo índice de herencia en esta población, pudiera estar relacionado: en primer lugar con el método de estimación por cuanto se asumió que los animales no

estaban emparentados, lo cual es hasta cierto punto incorrecto; en segundo lugar por el incremento de la consanguinidad que se ha producido en este rebaño "*cerrado*" desde su fundación hasta el año 2002, como se puede ver en el cuadro 2, donde se presentan los detalles de la evolución de la consanguinidad en el periodo 1970-2002, se observa un considerable incremento en el porcentaje de animales consanguíneos a partir de 1985, a pesar de que los valores promedio son inferiores al 5%, los niveles de consanguinidad entre los animales consanguíneos fluctúan entre 3 y 25,9%. El efecto genético de la consanguinidad es aumentar la homocigosis y en consecuencia contribuir a la reducción en la variabilidad aditiva (Falconer y MacKay, 2006), lo cual pudiera contribuir a explicar la diferencia entre ambos estimadores. Destaca el hecho de que los nacimientos del año 2002, el 95,65% de la progenie es el producto del apareamiento entre animales emparentados, con bajos niveles, pero la proporción de animales originados del apareamiento de progenitores emparentados es demasiado elevada, pudiendo traer consecuencias adversas en un futuro inmediato, es necesario la implementación de un programa eficiente para el control de la consanguinidad (Román *et al*., 2024).

Cuadro 2. Niveles de consanguinidad en el ganado Brahman de registro la estación experimental "La Cumaca" en el periodo 1970 -2002

Año	n		Niveles de Consanguinidad		
	Total	% cons,	$\overline{F}_i$	F_{min}	F_{max}
1970	87	0,00	0	0	0
1971	104	0,00	0	0	0
1972	103	0,00	0	0	0
1973	113	0,00	0	0	0
1974	114	0,00	0	0	0
1975	148	0,00	0	0	0
1976	125	2,40	16,6667	12,500	25,000
1977	132	3,03	6,2500	6,250	6,250
1978	85	3,53	8,3333	6,250	12,500
1979	119	2,52	4,6873	1,562	6,250
1980	98	4,08	4,2968	1,562	6,250
1981	134	4,48	2,4737	0,781	6,250
1982	76	17,11	3,4855	0,781	6,250
1983	121	4,13	2,0310	0,781	3,125
1984	101	0,00	0	0	0
1985	127	12,60	1,9288	0,391	6,250
1986	63	33,33	2,1204	0,195	8,594
1987	133	37,59	2,1855	0,195	13,281
1988	116	42,24	1,1997	0,098	6,250
1989	154	42,86	1,3923	0,049	16,016
1990	147	60,54	1,0830	0,049	8,398
1991	116	59,48	0,7296	0,098	6,250
1992	123	72,36	1,1653	0,024	13,306
1993	123	77,24	1,4077	0,024	16,309
1994	143	76,22	1,4075	0,024	25,293
1995	112	76,79	1,1442	0,061	7,080
1996	79	84,81	0,8771	0,098	4,309
1997	67	74,63	1,4702	0,024	7,812
1998	102	78,43	1,8155	0,021	13,281
1999	78	78,21	2,3414	0,195	8,612
2000	70	84,29	1,6071	0,006	13,235
2001	86	91,86	1,9683	0,006	12,814
2002	69	95,65	2,4920	0,034	8,570

Tendencias

Método de Smith

A pesar de ser simple, la aplicación del método de Smith (1962) resulta un tanto laboriosa en comparación con otras metodologías, con su aplicación se estimó el cambio genético anual para el P540 de 1,2614 $\pm$ 0,0104 Kg/año, derivado de la siguiente forma: primero se estimó la pendiente de regresión anual de la población $\hat{b}_{PY} = 1{,}1313 \pm 0{,}0764$, con los 3558 registros disponibles, esto representa por lo tanto el cambio fenotípico. Seguidamente se procedió a realizar el análisis para obtener la pendiente de regresión dentro de toro, obteniéndose un estimador combinado ponderado con los recíprocos de las sumas de cuadrados corregidas para años cuyo valor fue $\hat{b}_{WY} = 0{,}5006$ (Damon y Harvey, 1987), de esta forma el estimador del cambio genético anual fue de

$\hat{\Delta}_G = 2(\hat{b}_{PY} - \hat{b}_{WY})$ tal como se indicó previamente; el error estándar del estimador de la tendencia genética es aproximado tal como lo propuso Smith (1962) y usado por Rosales y Tewolde (1993).

En la figura 1, se representa en líneas azules las rectas de regresión de los cambios anuales para los 98 toros usados en la estación experimental en el periodo de treinta y tres años, cada una de ellas contribuyendo a la estimación de $e + 1/2\,g$, en donde e representa el componente ambiental y g el componente genético; en rojo se representa la pendiente de los cambios fenotípicos dados por $e + g$, se pueden ver flucuaciones erráticas en las primeras, aspecto que es típico en experimentos de selección (Falconer y MacKay, 2006) en este rebaño se ha hecho énfasis por la selección por el peso a los 540 días, pero ambos pendientes sugieren una tendencia positiva.

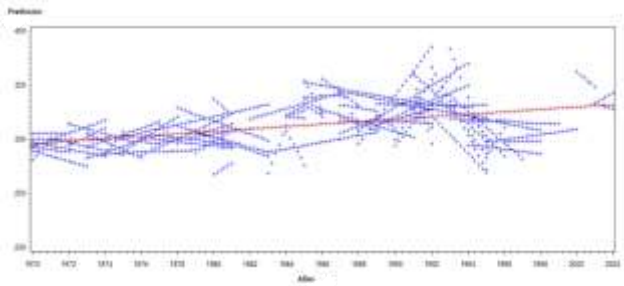


Figura 1. Representación de la pendiente fenotípica anual (línea roja) y líneas de regresión intra – padre para los 98 sementales usados en la estación experimental "La Cumaca" (líneas azules).

Estimación por Cuadrados Mínimos

En el cuadro 3 se presentan las pendientes de regresión calculadas con las medias anuales de los modelos l y ll acompañado de sus errores típicos; usando el método propuesto por Burnside y Legates (1967); las cuales fueron estimadas directamente con las medias que se presentan en el cuadro 5. A pesar de las limitaciones computacionales, programas como el desarrollado por Harvey (1960) hacía posible correr estos modelos por la absorción por cuadrados mínimos o máxima verosimilitud de efectos del modelo. Tal como lo sostienen Burnside y Legates (1967), como se dijo anteriormente, los estimadores obtenidos según esta técnica, tienen la misma expectación teórica a los propuestos por Smith (1962), según esto el doble de la diferencia entre las pendientes del modelo ll y modelo l es la tendencia genética, en este caso representado 3,03 kg/Año tendiendo a un cambio altamente significativo ($p \leq 0{,}01$), pero sobrestimando considerablemente su verdadero valor en comparación a la tendencia genética real estimada con las predicciones del mérito genético según el modelo animal como veremos posteriormente.

Cuadro 3. Pendientes de regresión sin ajustar de las medias anuales, según los modelos I y II, en el rebaño Brahman registrado de la estación experimental "La Cumaca"

Modelo	Estimadores			Pr. > t
	b	**E,E**	t^*	
I	-0,4545	0,3712	-1,22	0,2300
II	1,0609	0,3529	3,01	0,0052
$2(b_{II} - b_I)$	3,0308			

A pesar de haber existido un cambio genético anual de 3,03 kg la tendencia fenotípica fue tan solo de 1,06 kg/año, lo cual refleja que no todo el potencial genético se expresó debido a que el mérito genético lo enmascara las condiciones ambientales y de manejo, ya que las condiciones "*óptimas*" para la completa expresión de los genes, no se les pueden proporcionar a los animales por razones de económicas. En estas estimaciones, el promedio del P540 fue de 313,29 ± 42.54 kg lo cual sugiere que el progreso genético anual fue tan solo de 0,97% de la media de la media del carácter, es decir no llega al 1% del promedio del carácter en la población; lo cual sugiere implementar y revisar los programas de selección en ambos sexos.

En el cuadro 4, se presentan las mismas tendencias ponderadas por el recíproco las varianzas de cada año, siendo estas muy similares a las reportadas en el cuadro 3; en el cuadro 4 se puede ver que los factores de ponderación no difieren mucho en magnitud para cada año asimismo, el número de observaciones no es muy desproporcionado, este estimador es solo ligeramente inferior al publicado para este rebaño en el periodo 1966 -1976, usando el mismo principio, con la diferencia que el modelo incluyó la interacción año por mes, además del ajuste por la edad de la madre al parto (Plasse *et al.*, 1994).

Cuadro 4. Pendientes de regresión de las medias anuales, ajustada con el recíproco de las varianzas para años, según los modelos I y II, en el rebaño Brahman registrado de la estación experimental "La Cumaca"

Modelo	Estimadores			Pr. > t
	b	**E,E**	t^*	
I	-0,4918	0,4519	-1,09	0,2848
II	1,0792	0,3583	3,01	0,0051
$2(b_{II} - b_I)$	3,1420			

Cuadro 5. Medias ajustadas ± errores estándar y factores de ponderación para el efecto de año según los modelos I y II, en ganado Brahman de registro de la estación experimental "La Cumaca"

Años	Modelo I			Modelo II		
	$\bar{y}$	$\sigma_{\bar{y}}$	$1/\sigma^2_{\bar{y}}$	$\bar{y}$	$\sigma_{\bar{y}}$	$1/\sigma^2_{\bar{y}}$
1970	317,08	8,35	0,0143	294,36	3,59	0,0776
1971	328,11	8,04	0,0155	303,92	3,32	0,0907
1972	323,78	7,96	0,0158	306,91	3,37	0,0881
1973	316,31	7,41	0,0182	299,41	3,24	0,0953
1974	329,77	7,41	0,0182	310,26	3,23	0,0959
1975	317,68	6,96	0,0206	307,04	2,93	0,1165
1976	299,60	6,95	0,0207	288,04	3,10	0,1041
1977	325,83	6,80	0,0216	316,42	3,05	0,1075
1978	319,20	6,80	0,0216	312,31	3,64	0,0755
1979	320,13	6,77	0,0218	309,78	3,21	0,0970
1980	323,12	6,88	0,0211	313,32	3,47	0,0831
1981	325,73	6,45	0,0240	318,27	3,00	0,1111
1982	327,51	6,50	0,0237	319,32	3,80	0,0693
1983	299,08	5,69	0,0309	279,84	3,15	0,1008
1984	343,46	6,34	0,0249	323,10	3,35	0,0891
1985	348,32	5,94	0,0283	347,24	3,05	0,1075
1986	343,37	5,68	0,0310	342,71	4,13	0,0586
1987	340,97	5,43	0,0339	340,89	3,02	0,1096
1988	322,32	5,10	0,0384	320,18	3,19	0,0983
1989	322,68	4,36	0,0526	322,45	2,81	0,1266
1990	305,50	4,63	0,0466	308,41	2,90	0,1189
1991	347,70	4,86	0,0423	347,48	3,18	0,0989
1992	350,67	5,02	0,0397	350,55	3,12	0,1027
1993	360,25	5,16	0,0376	357,97	3,11	0,1034
1994	311,08	4,86	0,0423	320,59	2,87	0,1214
1995	285,31	5,38	0,0345	295,35	3,24	0,0953
1996	291,28	6,11	0,0268	305,42	3,70	0,0730
1997	272,24	6,55	0,0233	287,96	3,97	0,0634
1998	281,31	5,99	0,0279	303,34	3,33	0,0902
1999	314,97	6,48	0,0238	337,19	3,73	0,0719
2000	332,72	7,30	0,0188	362,79	3,92	0,0651
2001	304,76	7,55	0,0175	339,51	3,59	0,0776
2002	316,30	7,92	0,0159	346,28	3,73	0,0719

En el cuadro 6 se presentan las pendientes de regresión con la diferencia de que en el modelo lII se incluyó además del padre, la madre, los cuales no fueron absorbidos en el resto de las ecuaciones de los otros efectos fijos con lo que resulto en una matriz de coeficientes relativamente grande. Las pendientes de regresión de las medias anuales, reflejan el cambio ambiental, como se señaló previamente, el efecto de años en los modelos III y IV fue incluido como una covariable lineal. La estimación de la tendencia genética según este método es computacionalmente muy demandante, ya que el número de grados de libertad del modelo fue de 3339 y por lo tanto computacionalmente muy demandante, así, el tiempo gastado por la Unidad Central de Proceso (CPU) fue de 11 minutos, 58 segundos y 48 centésimas de segundos en comparación con los 18 segundos gastados en ajustar el modelo II. Hoy en día pareciera poco por el mejoramiento tanto del "*hardware*" como el "*software*", pero para la época de Smith (1962) era imposible correr este modelo aun en un "*main frame*" y aún en la época de Burnside y Legates (1967), sin absorción era prohibitivo. La diferencia entre las pendientes de regresión de los modelos IV y III estiman la tendencia genética directamente, la cual es muy similar a la publicada por Plasse *et al*. (1994).

Cuadro 6. Pendientes de regresión según modificación al método de Smith incluyendo ambos progenitores en el modelo I, en el rebaño Brahman registrado de la estación experimental "La Cumaca".

Modelo	Estimadores			Pr. > t
	b	E,E	t^*	
III	-1,3973	1,6920	-0,83	0,4098
IV	1,1359	0,0679	16,72	0,0001
$b_{IV} - b_{III}$	2,5332			

Modelo Animal

Los mejores estimadores de los cambios anuales son obtenidos en la práctica con el modelo animal, ya que al asumir un modelo infinitesimal, cambios en la varianza genética resultante de selección, de consanguinidad o deriva genética son considerados en las ecuaciones del modelo mixto al incluir la matriz de relación genética aditiva **A**, Mrode (2013). El estimador de la varianza

aditiva fue de 328,49 mientras que la sin varianza ambiental fue de 647,95 por lo tanto el estimador del índice de herencia fue de 0,34 ± 0,04; superior al estimado, sin considerar relaciones genéticas entre los animales de la población. Es importante destacar que, al ejecutar el análisis con el modelo animal, después del filtrado permanecieron el 98% de los animales, lo que demuestra la pulcritud con la cual se mantuvieron los libros de registros de la Estación Experimental "La Cumaca". El mismo esmero es de destacar en el control de los apareamientos, ya que, siendo un rebaño cerrado, los niveles de consanguinidad son relativamente bajos, a pesar del elevado número de animales consanguíneos.

Las ecuaciones de predicción donde t representa los años fueron para las tendencias genéticas, ambientales y fenotípicas respectivamente: $\Delta_a = -1639{,}74 + 0{,}8291t$; $\Delta_e = -413{,}87 + 0{,}2084t$ y $\Delta_p = -2053{,}61 + 1{,}0375t$. Las tres se ilustran gráficamente en la figura 2 como desviaciones de la media poblacional, en donde se aprecia la clara tendencia positiva en los cambios anuales, con la tendencia genética por debajo de la tendencia fenotípica. Con la excepción de los cambios ambientales los otros fueron significativamente diferentes de cero (p ≤0,01), esos cambios están en acuerdo con los resultados previos reportados por Verde (2016).

Cuadro 6. Estimadores de las tendencias genéticas, ambientales y fenotípicas en utilizando el modelo animal en el rebaño Brahman registrado de la estación experimental "La Cumaca"

	Estimadores			
Modelo	***b***	**E,E**	***t****	**Pr. > t**
Genética	0,8229	0,0734	11,29	0,0001
Ambiental	0,2084	0,3574	0,58	0,5640
Fenotípica	1,0375	0,3591	2,93	0,0063

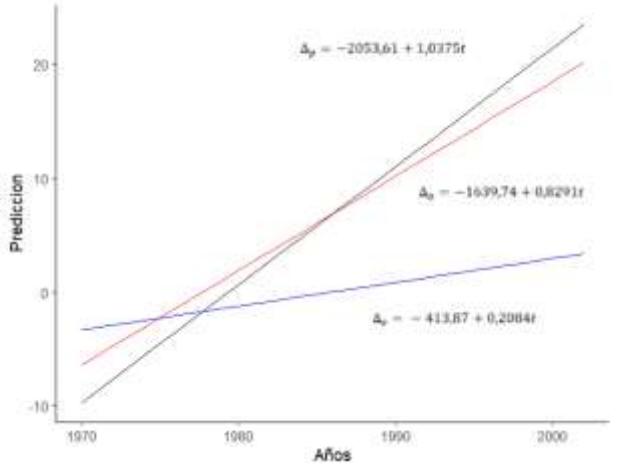


Figura 2. Tendencias genéticas, ambientales y fenotípicas, estimadas según un modelo animal para un rebaño Brahman de registro.

CONCLUSIONES

El índice de herencia para el peso ajustado a los 540 días estimado vía medios hermanos paternos es bajo, la varianza aditiva solo representa el 21,22% del total, por lo tanto, se espera que la respuesta a la selección sea lenta.

El estimador del índice de herencia para el mismo carácter vía modelo animal sugiere que la varianza aditiva representa un 34% de la variabilidad fenotípica.

El cambio genético anual fue inferior al 1% del promedio general del rebaño para el carácter. Es imprescindible revisar los programas de selección de los animales de reemplazo.

El método propuesto por Smith y el modificado por Burnside y Legates sobrestiman la verdadera tendencia genética.

El método modificado incluyendo ambos progenitores además de ser computacionalmente muy demandante aún sobrestima el progreso genético real.

Se recomienda la migración de animales mejoradores de poblaciones superiores pues la consanguinidad puede comprometer la estabilidad del rebaño en el mediano plazo.

LITERATURA CITADA

Arias, M., Romero B, R., Camaripano, L. Arriaga L. 2013. Parámetros Genéticos y no Genéticos para Caracteres de Crecimiento en un Rebaño Brahman Registrado. Rev. Fac. Cs. Vets. UCV. 54(2):78-88.

Burnside, E. B., and Legates, J. E. 1967. Estimation of Genetic Trends in Dairy Cattle Populations. J. Dairy Sci. 50(9):1448-1457

Damon, R. A, y Harvey, W. R. 1987. Experimental Design, Anova and Regression. Harper & Row, Publishers, Inc., New York, NY. Pp 197-199

Dangar, N., and Vataliya, P. 2018. Reliable Methods of Estimation of Genetic, Phenotypic and Environmental Trend for Production Traits in Gir Cattle. Indian Vet. J. 95(03):35–39

Falconer, D. S. y MacKay, T. F. C. 2006. Introducción a la genética cuantitativa. 4ta Edición. Editorial ACRIBIA, S.A. Zaragoza España. 469 p.

Guillén Trujillo A., Guerra Iglesias D., Ávila Serrano N., Palacios Espinosa A., Ortega Pérez R., Espinoza Villavicencio J. L. 2012. Parámetros y tendencias genéticas del peso al destete y a los 18 meses de edad en ganado Cebú bermejo de Cuba. Rev. Mex. Cienc. Pecu. 3(1):19-31

Harvey, W. R. 1960. Least-Squares Analysis of Data with Unequal Subclass Numbers. Agricultural Research Service United States Department of Agriculture. ARS-20-8 157 p.

Harvey, W. R. Harvey, W. R. 1990. User's Guide for LSMLMW and MIXMDL PC-2 Version. Mixed Model Least-Squares and Maximum Likelihood Computer Program. 90 p.

Manrique C. 2004. Parámetros genéticos para características de peso del cebú Brahman en Colombia. Rev Med Vet Zoot. 51:95-98

Meyer, K. 2022. WOMBAT: A Program for Mixed Model Analyses by Restricted Maximum Likelihood. USER NOTES. Animal Genetics and Breeding Unit, University of New England Armidale, NSW 2351, Australia. 136 p.

Mrode, R. A. 2013. Linear Models for the Prediction of Animal Breeding Values. 3rd Edition. CABI, UK. pp 34-46

Parra-Bracamonte, G. M., Martínez-González, J. C., Cienfuegos-Rivas, E.G., Javier García-Esquivel, F. J., Ortega-Rivas, E. 2007a. Parámetros genéticos de variables de crecimiento de ganado Brahman de registro en México. Veterinaria México. 38(2):217-229.

Parra-Bracamonte, G. M., Martínez-González, J. C., García-Esquivel, F. J., González-Reyna, A. Briones-Encinia, F., Cienfuegos-Rivas, E. G. 2007b. Tendencias Genéticas y Fenotípicas de Características de Crecimiento en el Ganado Brahman de Registro de México. Rev. Cient. 17(3):262-267.

Plasse, D., Verde, O., Beltran, J., Marquez, N., Capriles, A., Arriojas, L., Shultz, T., Braschi y Benavides, A. 1994. Tendencias anuales de producción e influencias geneticas y ambientales en un rebaño Brahman genéticamente cerrado. 2. Tendencias Fenotípicas, Genéticas y Ambientales. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 2(2): 125-139.

Powell, R.L., and Freeman, A.E. 1974. Genetic Trend Estimators. J. Dairy Sci. 57(9): 1067-1075

Román, R. M., Wilcox, C. J., Littell, C. J. 1999. Genetic trends for milk yield of Jerseys and correlated changes in productive and reproductive performance. J Dairy Sci. 82(1):196-204

Román, R,M., Gómez Ramos, B., Nuncio Ochoa,M. G.J., Bermúdez Goómez, L.E. 2024. Un método practico para el control de la consanguinidad en una población. ALPA en el Campo. 10(3):10-14

Rosales, J., y Tewolde, A. 1993. Estimación del progreso genético en hatos de bovinos Holstein mexicanos. Memorias científicas originales. Vet. Méx., 24 (3):185-188

SAS Institute Inc. 2015. SAS/STAT® 14.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.

Smith, C. 1962. Estimation of genetic change in farm livestock using field records. Animal Production. 4(2):239-251

Verde, O. G. 2016. La Estación Experimental "La Cumaca" y su Impacto en la Mejora Productiva de la Raza Brahman en Venezuela. Rev. Fac. Cs. Vets. UCV. 57(1):15-21.

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA EN PLANTAS DE *Brassica oleracea* var. *capitata*, COMUNIDAD PILANCÓN

EFFECT OF ORGANIC FERTILIZATION ON *Brassica oleracea* var. *capitata* PLANTS, PILANCÓN COMMUNITY

Angel Alberto Llomitoa Gavilanez[1*], Veronica Alexandra Chuquitarco Esmeraldas[1], Blanca Alicia Chanaguano Punina[2], María Julieta Aristega Cedeño[3], Edwin Ramiro Cevallos Carvajal[4]

[1]Facultad de Posgrado, Maestría en Agroecología y Desarrollo Sostenible, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador.
[2]Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Campus finca experimental "La María", Mocache, Los Ríos, Ecuador.
[3]Universidad Técnica de Cotopaxi, Ext la Maná, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Ecuador.
[4]Universidad Técnica de Cotopaxi, Campus Salache, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Ecuador.

Email: allomitoag@uteq.edu.ec

Información del artículo

Tipo de artículo: Artículo original

Recibido: 04/07/2024

Aceptado: 29/10/2024

Licencia: CC BY-NC-SA 4.0

Revista ESPAMCIENCIA 15(2):24-30

DOI: https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia. v15i2.498

Resumen

Los fertilizantes orgánicos son una de las alternativas del grupo de productos utilizados en la agricultura sostenible. El estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la fertilización orgánica en plantas de *Brassica oleracea var. capitata*. La investigación se desarrolló en la finca Angamarca la Vieja, ubicada en la comunidad Pilancón perteneciente a la parroquia Ramón Campaña, cantón Pangua, provincia de Cotopaxi, la investigación tuvo una duración de 90 días para el establecimiento del ensayo y trabajo experimental. Las evaluaciones se realizaron a los 30, 60 y 90 días después del trasplante, se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, dando un total de 20 unidades experimentales. Los fertilizantes utilizados fueron (gallinaza y compost), se evaluaron dos dosis (2 $Kg.m^2$ y 4 $Kg.m^2$), más un testigo de fórmula (10-30-10). Las variables evaluadas fueron: altura de planta, diámetro de tallo, diámetro de repollo, peso de repollo, rendimiento por parcela y rendimiento toneladas por hectárea. Se concluye que, el uso de fertilizantes orgánicos, la gallinaza y compost, mejora ciertas variables agronómicas. Aunque no se observó un impacto significativo en la altura de las plantas, se evidenció que la gallinaza a dosis de 4 $Kg.m^2$ tuvo un efecto positivo en el diámetro del repollo, mientras que el compost a la misma dosis mostró mejoras en el peso y rendimiento del cultivo. Estos resultados sugieren que la fertilización orgánica puede ser una alternativa viable para incrementar la producción agrícola de manera sostenible, promoviendo prácticas agrícolas que favorezcan tanto la productividad como la salud del suelo.

Palabras clave: Agricultura sostenible, compost, fertilizantes orgánicos, gallinaza, tratamientos.

Abstract

Organic fertilizers are one of the alternatives within the group of products used in sustainable agriculture. The study aimed to evaluate the effect of organic fertilization on *Brassica oleracea* var. *capitata* plants. The research was conducted at the Angamarca la Vieja farm, located in the Pilancón community, part of the Ramón Campaña parish, Pangua canton, Cotopaxi province. The study lasted 90 days for the establishment of the trial and experimental work. Evaluations were carried out at 30, 60, and 90 days after transplanting, using a completely randomized block design (DBCA) with five treatments and four repetitions, totaling 20 experimental units. The fertilizers used were poultry manure and compost, with two doses evaluated (2 $kg.m^2$ and 4 $kg.m^2$), along with a control treatment (10-30-10 formula). The variables evaluated were plant height, stem diameter, cabbage diameter, cabbage weight, yield per plot, and yield in tons per hectare. The study concluded that the use of organic fertilizers, namely poultry manure and compost, improved certain agronomic variables. Although no significant impact was observed on plant height, it was found that poultry manure at a dose of 4 kg/m^2 had a positive effect on cabbage diameter, while compost at the same dose showed improvements in crop weight and yield. These results suggest that organic fertilization can be a viable alternative to increase agricultural production sustainably, promoting agricultural practices that benefit both productivity and soil health.

Keywords: Sustainable agriculture, compost, organic fertilizers, poultry manure, treatments.

INTRODUCCIÓN

La col *(Brassica oleracea var. capitata)* es una verdura que tiene muchos beneficios para el ser humano, especialmente en términos de nutrición son ricas en compuestos bioactivos y promueven beneficios para la salud (Reyes-Pérez *et al*. 2016).

En Ecuador, en los últimos años, ha dado un desarrollo apresurado en la agricultura, mediante la introducción de nuevos cultivos hortícolas entre ellos está el repollo, que han sido sometido a estudios bioagronómicos para probar la eficiencia y adaptabilidad del cultivo. Desde luego, los cultivos agrícolas requieren el uso de gran cantidad de fertilizantes y pesticidas minerales, por lo que son elementos primordiales para incrementar la producción agrícola (Llomitoa *et al.* 2023). Contribuyendo a una creciente demanda en los mercados actuales (Sarmiento *et al*. 2023).

De las 2 600 000 hectáreas de superficie cultivada que tiene el Ecuador, 241 320 ha^{-1} pertenecen a superficie hortofrutícola, de las cuales 123 070 ha^{-1} corresponde a hortalizas y 118 250 ha^{-1} a frutales. La horticultura se encuentra principalmente en la serranía, con una intervención del 86%, y el resto en la costa ecuatoriana 13% y en el oriente 1% (Llomitoa *et al*. 2022).

El uso inadecuado de fertilizantes químicos sintéticos y la pérdida de la materia orgánica afectan en el crecimiento y la producción de los cultivos, trayendo consigo un incremento en la incidencia de plagas y enfermedades. Desde luego un elevado costo en la producción. Esto se debe a que los residuos que quedan en el suelo, como los nitratos, se filtran profundamente en el suelo con el riego continuo, provocando la contaminación de las aguas subterráneas debido a cantidades excesivas (Cruz-Nieto *et al*. 2023).

Diversos autores coinciden en que los fertilizantes orgánicos son un componente beneficioso que puede reducir los efectos degradantes del uso productivo de la tierra. Por ser un producto natural resultante de la desintegración de materiales de origen vegetal, animal o mixto, que tienen la posibilidad de mejorar la fertilidad y distribución del suelo, la capacidad de conservación de humedad, accionar su capacidad biológica y por ende mejorar la producción y productividad de los cultivos. En este mismo sentido, se indica que la fertilización orgánica sustituye en gran medida el uso de fertilizantes minerales (Agüero y Terry, 2014).

Por lo tanto, la agricultura sostenible se basa en el uso racional de los recursos de la tierra, la biodiversidad y los fertilizantes, utilizando tecnologías que aseguren altos rendimientos y cultivos de calidad (Aguilar-Flores *et al*. 2021).

Desde luego, el uso de los abonos orgánicos como, el compost y la gallinaza, contribuyen al mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo a través de la incorporación de nutrientes por medio de la regulación del balance hídrico, es fundamental en el mantenimiento del suelo y la protección del medio ambiente, aunque más lentamente, pero aseguran un desarrollo ecológico satisfactorio de los cultivos (Cotrina-Cabello *et al*., 2020).

El compost, es la descomposición biológica de restos orgánicos, se realiza por una población microbial diversa y en condiciones predominantemente aerobias, generando un material estable, libre de patógenos, que puede aplicarse al suelo (Oviedo *et al.* 2017).

Se conoce como gallinaza, a la mezcla de heces y orina que se obtiene de la gallina ponedora a la que se une la porción no digerible de los alimentos, células de decamaciones de la mucosa del aparato digestivo, productos de secreción de las glándulas, microorganismos de la biota intestinal, diversas sales minerales, plumas y un porcentaje ínfimo de material extraño (Casas-Rodríguez *et al*. 2020). Los fertilizantes orgánicos son una de las alternativas del grupo de productos utilizados en la agricultura sostenible.

Por lo mencionado, una de las alternativas agroecológicas es la aplicación de abonos orgánicos. La gallinaza y el compost pueden mejorar las características físicas, químicas y biológicas del suelo, así como incrementar la producción de las hortalizas. De esta manera producir de forma sustentable y sostenible a la vez amigable con el medio ambiente. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización orgánica en plantas de col.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La investigación se desarrolló en la finca "Angamarca la Vieja", ubicada en la comunidad Pilancón de la parroquia Ramón Campaña, perteneciente al cantón Pangua, provincia de Cotopaxi. La ubicación geográfica está 01°06´S 95" S latitud; y 79°0´S 10" W de longitud con una altitud que oscila entre los 2216 m s.n.m.

La investigación se realizó durante la época lluviosa, desde 02/01/2023 hasta 20/04/2023, caracterización agroclimática de la zona de estudio fue: temperatura media anual 15 a 20°C, precipitación anual 1750- 3000 mm/año, humedad relativa 94,83%, heliofanía 183,70 horas luz/mes, topografía del suelo irregular (ondulada). Los datos fueron proporcionados por el Gobierno Autónomo Descentralizado de la parroquia Ramón Campaña (Tulmo y Recalde, 2021).

Manejo del experimento

Los abonos se aplicaron en el momento del trasplante al boleo. Los datos se evaluaron en tres edades a los 30, 60 y 90 días después del trasplante. Se determinaron variables agronómicas y variables de producción.

Altura de planta (cm): Se midió con una cinta métrica a 6 plantas al azar de cada tratamiento y repetición desde suelo hasta el punto más alto del ápice de la hoja.

Diámetro del tallo (cm): Se determinó midiendo el punto medio del tallo con pie de rey, para obtener los datos sin error de medición, se dividió para 3.14 el resultado se registró en centímetros.

Diámetro del repollo (cm): Se evaluó al momento de la cosecha con una cinta métrica, los datos se tomaron a 6 repollos y sus promedios dividió para 3,14 y se registró en cm.

Peso del repollo (kg): Para la toma de datos del peso se procedió a cosechar los repollos de cada tratamiento y repetición, luego se quitó las hojas viejas posteriormente se pesó en una balanza de reloj de marca CAMRY, los promedios fueron representados en kilogramos.

Rendimiento por parcela (kg.m^2): El rendimiento del cultivo se determinó a la cosecha por el peso total del repollo de los tratamientos y repeticiones dividiendo para los 6 m^2.

Rendimiento (t.ha^{-1}): Para la obtención de estos datos se llevo a hectárea de cada tratamiento y repetición de cada parcela experimental.

Para el experimento se establecieron 20 parcelas experimentales con dimensiones de 3 m de largo por 2 m de ancho, y un área total de 273 m^2, el marco de siembra utilizado fue a una distancia de 60 cm entre hileras y 50 cm entre plantas, con una densidad de 20 plantas por 6 m^2, dando un total de 400 plantas para el experimento. Los abonos orgánicos utilizados fueron: gallinaza y compost, a dosis de (2 kg.m^2 y 4 kg.m^2).

Diseño experimental

Se empleó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con cinco tratamientos y cuatro repeticiones.

Antes del establecimiento del experimento se envió 1 kg de muestra de suelo y abonos, a dos diferentes laboratorios localizados en Ecuador, suelos, tejidos vegetales y aguas (INIAP - Pichilingue). Quevedo. Laboratorio de análisis químico agropecuario (AGROLAB). Ubicado en santo Domingo de los colorados (Cuadro1).

Cuadro 1. Análisis químico de suelo del área experimental al iniciar el experimento

Parámetros	Valor	Interpretación
pH	4,90	Muy ácido
M.O	8,40	Alto
NH4 ppm	39,00	Medio
P ppm	4,00	Bajo
k meq/100 ml	0,32	Medio
Ca meq/100 ml	3,00	Bajo
Mg meq/100 ml	1,00	Medio
S ppm	12,00	Medio
Zn ppm	4,60	Medio
Cu ppm	5,80	Alto
Fe ppm	216,00	Alto
Mn ppm	4,50	Bajo
B ppm	0,34	Bajo
Ca/Mg	3,00	Bajo
Mg/k	3,13	Bajo
Ca+Mg/k	12,50	Bajo
Textura%		
Arena	46,00	-
Limo	50,00	-
Arcilla	4,00	-

Fuente: INIAP (2023)

Cuadro 2. Análisis químico de la gallinaza

	Gallinaza	
Parámetro	**Valor**	
N (%)	0,94	
P (%)	1,06	
K (%)	2,73	
Ca (%)	1,16	
Mg (%)	0,40	
S (%)	0,16	
pH	7,90	L. Al.
C.E (ds/m	7,29	F. S.
Cu ppm	71,00	
B ppm	56,67	
Fe ppm	366,00	
Zn ppm	118,00	
Mn ppm	353,00	
M.O (%)	55,27	
Humedad (%)	19,97	
MS (%)	80,03	
Relaciones		
N/K	0,34	
K/P	2,58	
Mg/K	0,15	
Ca/Mg	2,90	
(Ca+Mg) /k	0,57	
C/N	32,06/0,94	
(K+Ca+Mg) %	4,29	

Fuente: AGROLAB (2023)

Cuadro 3. Análisis químico del compost

	Compost	
Parámetro	Valor	
N (%)	2,52	
P (%)	0,72	
K (%)	1,85	
Ca (%)	0,69	
Mg (%)	0,50	
S (%)	0,15	
pH	6,33	L. Al.
C.E (ds/m	6,47	F. S.
Cu ppm	62,00	
B ppm	35,11	
Fe ppm	959,00	
Zn ppm	110,00	
Mn ppm	286,00	
M.O (%)	35,17	
Humedad (%)	51,79	
MS (%)	48,21	
Relaciones		
N/K	1,36	
K/P	2,57	
Mg/K	0,27	
Ca/Mg	1,38	
(Ca+Mg) /k	0,64	
C/N	20,40/2,52	
(K+Ca+Mg) %	3,04	

Fuente: AGROLAB (2023)

Cuadro 4. Análisis químico de suelo del área experimental al finalizar el experimento

Parámetro	Valor	Interpretación
pH	5,31	Ácido
M.O %	12,38	Alto
NH4 ppm	34,82	Medio
P ppm	7,18	Bajo
S ppm	3,98	Bajo
Al+H mq/100 g	0,30	Medio
K meq/100 g	0,20	Medio
Ca meq/100 g	7,00	Medio
Mg meq/100 g	1,20	Bajo
Cu ppm	5,20	Alto
B ppm	0,25	Medio
Fe ppm	198	Alto
Zn ppm	10,50	Alto
Mn ppm	9,50	Mejo
Ca/Mg	5,83	Alto
Mg/K	6,00	Optimo
(Ca+Mg) /k	41,00	Alto
C.E ds/m	0,09	No Salino
Clase textural		Franco limoso

Fuente: AGROLAB (2023)

Análisis de datos

El procesamiento y análisis de varianza (ADEVA) para cada una de las variables en estudio y pruebas de medías de los tratamientos se realizó mediante el Software Infostat. Desde luego se aplicó la prueba de rangos múltiples de Tukey al 0,5% de probabilidad de error, para determinar diferencias estadísticas (Di Rienzo *et al*. 2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 5, en cuanto a la variable altura de la planta a los 30 días después del trasplante, se observó que todos los tratamientos con abonos orgánicos permanecieron en la primera categoría estadística, mientras que el testigo quedó en el segundo rango. Estos valores aumentaron dependiendo de la dosis utilizada y van desde 14,95 cm hasta 17,09 cm, el testigo alcanzó solo 11,63 cm.

A los 60 días, todos los tratamientos que recibieron abonos orgánicos conservan la primera categoría estadística en la variable altura de planta, mientras que el testigo se ubicó en el segundo rango. Los valores son progresivos en función de la dosis aplicada, fluctúan entre los 24,99 cm y 31,48 cm; en el testigo la altura de planta alcanzó apenas los 17,76 cm.

A los 90 días, de igual forma, estadísticamente fueron iguales para los tratamientos gallinaza y compost con valores que van desde 32,90 cm y 37,51cm.

En el caso de Pérez *et al.* (2016), determinaron el efecto de abonos orgánicos en el crecimiento y desarrollo de col verde. Los resultados mostraron que el uso de Jacinto de agua en plantas de col verde estimuló las variables altura de la planta con valores de 10,38 cm y 23,80 cm respectivamente, cuyos resultados fueron inferiores a los presentados en el experimento. Desde luego, estos valores encontrados en este trabajo, siguen siendo superiores a los encontrados por Oliva *et al*. (2017), quien evaluó dos enmiendas orgánicas en la producción de col, no presentó efecto positivo con respecto a la altura de planta los valores presentados fueron de 32,20 cm y 33,31cm respectivamente.

Cuadro 5. Altura de planta (cm) del efecto de la fertilización orgánica en plantas de col

Tratamientos	Altura de la planta (cm)					
	30 días		60 días		90 días	
Testigo 10-30-10	11,36	b	17,76	b	21,82	b
Gallinaza 2 kg.m^2	14,95	a	24,99	a	32,90	a
Gallinaza 4 kg.m^2	16,64	a	29,38	a	38,94	a
Compost 2 kg.m^2	16,05	a	28,43	a	37,50	a
Compost 4 kg.m^2	17,09	a	31,48	a	37,51	a
CV%	7,21		11,98		9,77	

(ns) Medias con una letra común no son significativamente diferentes según Tukey (p>0,05) en sentido vertical.

En el cuadro 6, se presentan los resultados del análisis estadístico de la variable diámetro del tallo, a los 30 días el tratamiento compost de la dosis aplicada de 4 kg.m^2 reveló valor superior con 5,69 cm y menor valor fue para el tratamiento testigo con 3,10 cm. Presentando (p>0,001) entre tratamientos estudiados.

A los 60 días, el mejor efecto presentó el (compost) con 7,10 cm de la dosis de 4 kg.m^2 como valor inferior se observó en el testigo (10-30-10) con 4,26 cm. Encontrando diferencias altamente significativas entre tratamientos.

A los 90 días de evaluación se encontró diferencias altamente significativas (p<0,001) con valor superior para el compost de 4 kg.m^2 con 10,07 cm y menor valor para el testigo con 5,67 cm.

Los resultados anteriores no coinciden a los reportados por Llomitoa *et al*. (2023), quienes evaluaron el comportamiento agronómico del cultivo de col con la aplicación de dos abonos orgánicos en el cantón Pangua, los resultados demostraron que la aplicación del abono orgánico compost permitió obtener mejores efectos a nivel de campo. El comportamiento agronómico de la col demostró una adecuada respuesta a la aplicación de este abono, cuyos valores fue: 3,68 cm, 22,87 cm y 23,21 cm respectivamente.

Cuadro 6. Diámetro del tallo (cm) del efecto de la fertilización orgánica en plantas de col

	Diámetro del tallo (cm)					
	30 días		**60 días**		**90 días**	
Testigo 10-30-10	3,10	c	4,26	d	5,67	e
Gallinaza 2 kg.m^2	4,48	b	5,53	c	6,80	d
Gallinaza 4 kg.m^2	5,21	ab	5,83	c	7,31	c
Compost 2 kg.m^2	4,95	ab	6,35	b	8,13	b
Compost 4 kg.m^2	5,69	a	7,10	a	10,07	a
CV%	11,42		2,91		2,41	

**Valores numéricos con diferente letra en sentido vertical son estadísticamente significativo según Tukey (p<0,05).

Para la variable diámetro de repollo, la gallinaza y el compost de la dosis 4 kg.m^2 estadísticamente fueron iguales con el resto de tratamientos evaluados con valores de 27, 28 cm y 26,74 cm respectivamente (Cuadro 7).

En relación a esta variable diámetro fue inferior a lo que encontró Llomitoa *et al*. (2022), quienes evaluaron el comportamiento agronómico del cultivo de col con la aplicación de dos abonos orgánicos con tres diferentes dosis en el recinto San Nicolas, los valores reportados fueron 74,83 cm y 74,93 cm, aplicando abonos orgánicos compost y gallinaza a dosis de 4 kg.m^2.

Con respecto a la variable peso de repollo, mostró (p<0,001) entre tratamientos, con valor superior para el compost con 5,34 kg de la dosis aplicada de (4 kg.m^2) y valor inferior lo registró el testigo (10-30-10) con 2,78 kg.

Los resultados encontrados por Díaz-Franco *et al*. (2017) fueron inferiores, con respecto a esta variable, usando abono orgánico y micorriza arbuscular en la producción de repollo, reportando valores de 1,28 kg y 1,29 kg. (HMA+gallinaza+FQ50%) y (HMA+gallinaza). La mayoría de los cultivos manifestaron una clara respuesta a la aplicación de abonos orgánicos, en particular en suelos sometidos a cultivos de forma consistente, debido a que aportan casi todos los nutrimentos que las plantas necesitan.

En la variable rendimiento por parcela se encontró (p<0,001). El mayor promedio presentó en el compost de (4 kg.m^2) con 15,46 kg. m^2 y el menor promedio lo registró la gallinaza de (2 kg.m^2) con 8,17 kg.m^2, el testigo alcanzó un promedio de 7,08 kg.m^2 de rendimiento por parcela.

Resultados presentados por Torrejon y Vásquez, (2021), investigando el efecto de dos tipos de fertilizantes y abonos en el rendimiento del repollo corazón de buey *Brassica oleracea* en María Luya Amazonas, encontrando valor de 14,17 kg utilizando abono orgánico guano de islas a dosis de 25 g por planta, encontrando diferencias significativas entre tratamientos. Cabe recalcar que este valor fue inferior a los encontrados en este experimento. Con respecto al tratamiento testigo, el experimento reveló valor inferior al reporte de Espinosa y Polanco, (2018), quienes evaluaron tres híbridos de repollo, bajo condiciones de clima tropical, encontrando promedios de 7,56 kg utilizando fertilizante químico de fórmula 12-24-12 a dosis de 15 g/planta.

Cuadro 7. Diámetro de repollo (cm), Peso (kg/col) y rendimiento por parcela (kg.m^2) del efecto de la fertilización orgánica en plantas de col

Tratamientos	Repollo					
	Diámetro (cm)		**Peso (kg/col)**		**Rendimiento parcela (kg.m^2)**	
Testigo 10-30-10	10,03	d	2,78	d	7,08	d
Gallinaza 2 kg.m^2	19,98	c	3,01	d	8,17	d
Gallinaza 4 kg.m^2	27,28	a	3,85	c	11,00	c
Compost 2 kg.m^2	25,75	b	4,47	b	13,19	b
Compost 4 kg.m^2	26,74	a	5,34	a	15,46	a
CV%	1,91		5,37		6,22	

**Valores numéricos con diferente letra en sentido vertical son estadísticamente significativo según Tukey (p<0,05).

En el cuadro 8, para la variable rendimiento en t.ha^{-1} se encontró diferencias altamente significativas con el mayor promedio para compost de (4 kg.m^2) con 910,05 t.ha^{-1}, como menor valor lo registró el testigo donde se le aplicó (10-30-10) con 493,65 t.ha^{-1}.

Con respecto a la variable rendimiento el experimento mostró valores superiores a los reportados por Torrejón y Vásquez (2021) con 102,88 t.ha^{-1} y 105,35 t.ha^{-1} respectivamente sobre efecto de dos tipos de fertilizantes y abonos en el rendimiento del repollo corazón de buey , demostrando que la fertilización orgánica en interacción con el mineral influyó positivamente en el rendimiento del cultivo de repollo, la dosis utilizada fue de (50 g. MPS) Molimax Papa Sierra y (25g. NPS) Nutrifer Papa Sierra. Desde luego, los resultados encontrados en este experimento siguen siendo superiores a los por Legua-Cárdenas *et al*. (2024) quienes evaluaron la fertilización de la col en una aplicación de la agricultura orgánica utilizando compost, hallando promedios de 36,09 t.ha^{-1}. Aplicando abono orgánico compost a dosis de 14000 kg. ha^{-1}.

Cuadro 8. Rendimiento en t.ha^{-1} del efecto de la fertilización orgánica en plantas de col

Tratamientos	Repollo	
	Rendimiento t.ha^{-1}	
Testigo 10-30-10	493,65	c
Gallinaza 2 kg.m^2	525,83	c
Gallinaza 4 kg.m^2	674,55	bc
Compost 2 kg.m^2	787,13	ab
Compost 4 kg.m^2	910,05	a
CV%	14,15	

**Valores numéricos con diferente letra en sentido vertical son estadísticamente significativo según Tukey (p<0,05).

CONCLUSIONES

Se concluye que, el uso de abonos orgánicos, la gallinaza y compost, mejora ciertas variables agronómicas. Aunque no se observó un impacto significativo en la altura de las plantas, se evidenció que la gallinaza a dosis de 4 kg.m^2 tuvo un efecto positivo en el diámetro del repollo, mientras que el compost a la misma dosis mostró mejoras en el peso y rendimiento del cultivo. Estos resultados sugieren que la fertilización orgánica puede ser una alternativa viable para incrementar la producción agrícola de manera sostenible, promoviendo prácticas agrícolas que favorezcan tanto la productividad como la salud del suelo.

LITERATURA CITADA

Agüero, D. R., y Terry, E. 2014. Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. Cultivos Tropicales, 35(4):52-59.

Aguilar-Flores, I. M., Espinosa-Victoria, D., Carcaño-Montiel, M., Rodríguez-Mendoza, M. de las N., Aguilar-Flores, I. M., Espinosa-Victoria, D., Carcaño-Montiel, M., y Rodríguez-Mendoza, M. de las N. 2021. Desarrollo y producción de la col (*Brassica oleracea var*. Royal vantage) bajo diferentes presiones osmóticas y biofertilizada con consorcios bacterianos. Terra Latinoamericana, 39. https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.841

Casas-Rodríguez, S., Guerra Casas, L. D., Casas Rodríguez, S., y Guerra Casas, L. D. 2020. Chicken manure, effect on the environment and possibilities for reuse. Revista de Producción Animal, 32 (3):87-102. https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e3611

Cotrina-Cabello, V. R., Alejos-Patiño, I. W., Cotrina-Cabello, G. G., Córdova-Mendoza, P., Córdova-Barrios, I. C., Cotrina-Cabello, V. R., Alejos-Patiño, I. W., Cotrina-Cabello, G. G., Córdova-Mendoza, P., y Córdova-Barrios, I. C. 2020. Efecto de abonos orgánicos en suelo agrícola de Purupampa Panao, Perú. Centro Agrícola, 47 (2): 31-40.

Cruz Nieto, D. D., Montes, L. a. A., Lirión Rodríguez, I. R., Chauca, V. M. Z., More López, J. M., Yovera Saldarriaga, J., Romero Menacho, J. U., Chanducas Tantaleán, H. E., Sotelo Montes, J. E., Jamanca Ramírez, M. A., Caira Mamani, C. M., Alberto, M. N. M., Carbonel Neciosup, A. E., y Vélez Chang, Y. J. 2023. Analysis of the biological and chemical characteristics of cabbage *(Brassica oleracea var. capitata* L.) Fed with compost based on sugarcane residues. Brazilian Journal of Biology, 83, e275698. https://doi.org/10.1590/1519-6984.275698

Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., y Robledo, C. 2019. InfoStat Versión 2019. En Grupo InfoStat—Universidad Nacional de Córdoba.

Díaz-Franco, A., Alvarado-Carrillo, M., Alejandro-Allende, F., y Ortiz-Chairez, F. E. 2017. Organic manure and arbuscular mycorrhizal use on cabbage production. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas, 16 (1):15-21. https://doi.org/10.5154/r.rchsza.2017.02.003

Espinosa, W., y Polanco, R. 2018. Evaluación de tres híbridos de repollo *(Brassica oleracea* L. *var. capitata* l.) bajo condiciones de clima tropical. Revista Investigaciones Agropecuarias, 1(1):31-44.

Legua Cárdenas, J. A., Campos Diaz, Á. H., Flores Briceño, R., Saucedo López, M. C., Caro Soto, F. G., y Vélez Chang, D. J. 2024. Fertilización de la col *(Brassica oleracea* L.) en una aplicación de la agricultura orgánica utilizando compost. Revista Alfa, 8 (23):508-519. https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i23.282

Llomitoa, A., Llomitoa, N., Luna, R., y Chanaguano, B. 2023. Evaluación del comportamiento agronómico del cultivo de col *(Brassica oleracea var. capitata)* con la aplicación de dos abonos orgánicos en el

cantón Pangua, Ecuador. Revista FAVE Sección Ciencias Agrarias:22. https://doi.org/10.14409/fa.2023.22.e0015

Llomitoa, A., Punina, B. A. C.-, Gavilanez, N. W. L.-, y Murillo, R. A. L. 2022. Evaluación del comportamiento agronómico del cutivo de col *(Brassica oleracea var. Capitata)* con la aplicación de dos abonos orgánicos con tres diferentes dosis en el Recinto San Nicolás. Nexo agropecuario, 10 (2).

Oliva, M., Neri, J., Guaman, E., Oyarse, S., y Silva, R. 2017. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos sobre el rendimiento de repollo Corazón de Buey *(Brassica oleracea)* en Chachapoyas, Amazonas. Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable, 1(3), 20-27. https://revistas.untrm.edu.pe/index.php/INDESDOS/article/view/370

Oviedo, R., Fernando, M.-R. L., y Patricia, T.-L. 2017. Avances en investigación sobre el compostaje de biorresiduos en municipios menores de países en desarrollo. Lecciones desde Colombia. Ingeniería Investigación y Tecnología, XVIII (1):31-42. DOI: http://dx.doi.org/10.22201/fi.25940732e.2017.18n1.003

Pérez, J. J. R., Murillo, R. A. L., Bermeo, M. del R. R., Fernández, G. S., Méndez, C. I. U., Herrada, M. R., Bravo, D. A. C., Mendoza, A. F. A., y Rodríguez, J. C. G. 2016. Abonos orgánicos y su efecto en el crecimiento y desarrollo de la col *(Brassica oleracea* L*)*. Biotecnia,18 (3):28-32. https://doi.org/10.18633/biotecnia.v18i3.332

Sarmiento-Sarmiento, G., Rivera-Bejarano, W., Mena-Chacón, L., Quispe-Castro, R., Velarde-Apaza, L., y Lipa-Mamani, L. 2023. Efecto del uso de vermicompost, acolchado orgánico y cobertura plástica sobre algunas propiedades del suelo y el cultivo de brócoli *(Brassica oleracea* L.), en Perú. Chilean journal of agricultural & animal sciences, 39 (1): 35-44. https://doi.org/10.29393/CHJAA39-4EUGL60004

Torrejo, N. C. E., y Vásquez, G. I. 2021. Efecto de dos tipos de fertilizantes y abonos en el rendimiento del repollo corazón de buey *(Brassica oleracea)*. Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería, 4 (2):31-36. https://doi.org/10.25127/ucni.v4i2.7250Nestor%20Claumer.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Tulmo, W. M. C., y Recalde, R. Y. B. 2021. Gobierno Autónomo Descentralizado de la parroquia Ramón Campaña, Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial. https://ramoncampana.gob.ec/cotopaxi/wp-content/uploads/2018/06/PDYOT-RAM%C3%93N-CAMPA%C3%91A-FINAL2018.pdf

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

PROPIEDADES FÍSICAS DE PELÍCULAS COMESTIBLES DE CÁSCARAS: PLÁTANO, YUCA, CAMOTE, CON EXTRACTO DE CACAO

PHYSICAL PROPERTIES OF EDIBLE FILMS MADE FROM PEELS: BANANA, CASSAVA, AND SWEET POTATO, WITH COCOA EXTRACT

Víctor Otero Tuárez[1, 2] y Anggie Figueroa Holguin[1]

[1]Carrera de Agroindustrias, Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Manta 130214, Ecuador.
[2]Carrera de Alimentos, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí. Portoviejo 130103, Ecuador

Email: victor.otero@uleam.edu.ec

Información del articulo

Tipo de artículo: Artículo original

Recibido: 31/07/2024

Aceptado: 11/12/2024

Licencia: CC BY-NC-SA 4.0

Revista ESPAMCIENCIA 15(2):31-41

DOI: https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v15i2.502

Resumen

Se elaboró películas a partir de harina de cáscaras de plátano, yuca y camote con la adición de extracto de cacao CCN 51. Las películas de harina de cáscara-camote con el 1,5 % de extracto de cacao tuvo mayor WVP con 5,93 gmm/hm2kPa. Las películas de harina de cáscara-yuca presentaron menor opacidad y mayor luminosidad de color, siendo el control el más bajo en opacidad con 1,04 mm^{-1} y el tratamiento con harina de cáscara de yuca (8%), glicerol (3%) y extracto de cáscara de cacao (1,5%) con 39,12 L*, 2,93 a* y 3,08 b*. Las películas de harina de cáscara-plátano mostraron mejores propiedades de elongación (22,44%), tensión máxima (1,62 MPa) y elasticidad (9,66 MPa), respectivamente. El extracto de cacao influyó significativamente en la opacidad, color y WVP, sin afectar la humedad y solubilidad en agua de las películas, debido a que en estos parámetros no se observó diferencias significativas ($p > 0,05$). De acuerdo con las características físicas que cada película presentó, se podría desarrollar un film combinando diferentes fuentes de almidón y así, obtener películas y recubrimientos comestibles con excelentes propiedades funcionales, para asegurar la calidad y extender la vida útil de los alimentos.

Palabras clave: películas comestibles, propiedades mecánicas físicas, almidón.

Abstract

Films were developed from banana, cassava, and sweet potato peel flours with the addition of CCN 51 cocoa extract. Sweet potato peel flour films with 1.5% cocoa extract exhibited the highest WVP at 5.93 gmm/hm²kPa. Cassava peel flour films showed lower opacity and higher color brightness, with the control having the lowest opacity at 1.04 mm^{-1}, and the treatment with cassava peel flour (8%), glycerol (3%), and cocoa shell extract (1.5%) achieving 39.12 L*, 2.93 a*, and 3.08 b*. Banana peel flour films demonstrated better elongation properties (22.44%), maximum tensile strength (1.62 MPa), and elasticity (9.66 MPa), respectively. Cocoa extract significantly influenced opacity, color, and WVP, without affecting moisture and water solubility, as no significant differences were observed in these parameters ($p > 0.05$). Based on the physical characteristics of each film, it is suggested that combining different starch sources could develop films and edible coatings with excellent functional properties to ensure food quality and extend shelf life.

Keywords: edible films, physical mechanical properties, starch.

INTRODUCCIÓN

La actividad agropecuaria y agroindustrial generan una inmensa cantidad de residuos y subproductos, de los cuales un elevado porcentaje se quema o se incorpora al suelo como abono, sin embargo, en su mayoría esta materia orgánica se transforma en residuos no comestibles que se constituyen en una fuente de contaminación ambiental (Veloz, 2019).

La especie *Musa paradisiaca* también conocida como plátano macho, bellado, hartan, cuerno de toro o plátano verde, a nivel global representa el 6,4% de producción y se estima en Ecuador 141 441 hectáreas con una producción anual de aproximadamente 4986 mil toneladas reportadas el 2016. Según Pozo (2019), la cáscara representa del 35 al 40% del fruto y tiene un porcentaje de almidón del 12,33 y la pulpa 23,54%, expresa que su rendimiento es menor en cuanto al contenido de almidón de la variedad *Musa cavendishii* L y mayor a *Musa cavandanaish.*

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es un cultivo de origen neotropical, siendo las raíces tuberosas el órgano de interés comercial (Corozo *et al*., 2020). En Ecuador se producen alrededor de 76 892 t, de las cuales 12 798 t corresponden a la provincia de Manabí, y se estima un rendimiento promedio de 5,44 t/ha (INEC, 2018; Mera-Andrade *et al*., 2018). Los rechazos de la yuca son destinados a la fabricación de alimentos balanceados para aves y camarones. Sandoval (2017), menciona que la cáscara de yuca representa entre el 15 a 20% del peso total de la raíz y su calidad es bastante uniforme.

La *Ipomoea batata* (camote) es el cultivo más sembrado en extensión de las regiones Interandina, Litoral y Amazonia, tiene 100 ha de superficie sembrada y 270,9 t producción. Estas plantas se caracterizan por tener un alto contenido de humedad y ser metabólicamente activos después de la cosecha, tiempo de vida útil corto y comercialización rudimentaria los factores antes señalados han traído como consecuencia una problemática de pérdida en postcosecha de hasta un 30% en el mundo (Chandrasekara & Josheph, 2016; Manzanillas, 2018). La pulpa de la raíz representa el 86,8%; y el resto está constituido un 13,2% por la cáscara (Pochon *et al*., 2010).

En Ecuador, no existen datos que indiquen la cantidad de residuos agroindustriales generados, ni tampoco las características de estos residuos, lo que dificulta su gestión, tratamiento y valorización (Gavilanes, 2016). Una ruta para destinar los despojos agroindustriales y disminuir el problema ambiental es aprovechando estos residuos convirtiéndolos en subproductos para ser usados como otras fuentes de materiales para el continuo desarrollo de nuevas tecnologías.

Los biopolímeros son alternativas verdes y renovables, recientemente se han utilizado para producir películas comestibles que se aplican en la agroindustria para extender la vida útil de los alimentos y controlar el paso de algunos componentes del entorno (García *et al*., 2018). Por ello, se está optando por el cambio de recurrir a la extracción y utilización de subproductos de materias primas locales para la fabricación de recubrimientos comestibles que tenga un proceso de degradación mucho más rápido sin provocar consecuencias irreversibles (Oropeza *et al*., 2016). Bajo este contexto, las cáscaras de plátano, yuca y camote, que generalmente son rechazos, pueden ser aplicadas en la industria alimentaria como nuevas fuentes de almidón.

Actualmente, se ha propuesto el uso de agentes antimicrobianos o nutracéuticos para obtener empaques activos, así como para mejorar las propiedades tecnológicas, debido a que la funcionalidad de las películas comestibles depende principalmente de su humectabilidad, propiedades de barrera y mecánicas (García *et al*., 2018).

La variedad de cacao CCN-51 (Colección Castro Naranjal) es originario de Ecuador, las cáscaras son ricas en carbohidratos, fibra, proteínas, pectina y compuestos bioactivos como los polifenoles y carotenoides. Existen estudios como Sotelo & Alivis (2019) u Ordoñez *et al.* (2019) que indican la capacidad de propiedades antimicrobianas y antioxidantes.

Con referencia a lo mencionado anteriormente, el objetivo de este estudio fue caracterizar las propiedades físicas, las cuales fueron: pH (SFP), espesor, humedad, solubilidad de agua en las películas, color, opacidad, tensión máxima, elongación relativa, módulo de elasticidad y permeabilidad al vapor de agua; de las películas comestibles de harina de las cáscaras de plátano, yuca y camote, y determinar el efecto de adición del extracto de cáscara de cacao CCN 51.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las cáscaras de yuca (*Manihot esculenta* Crantz), camote *(Ipomoea batatas)* y plátano (*Musa paradisiaca*) fueron recolectadas en locales de la ciudad de Manta. Se realizó un análisis visual de la materia prima para seleccionar aquella en buen estado. Este cuidadoso proceso de selección de la materia prima es fundamental para garantizar la obtención de películas comestibles con las propiedades deseadas

Extracto de cáscara de cacao

Las cáscaras de cacao CCN-51 congeladas pasaron a un liofilizador por 48 horas para su secado. Por cada gramo de muestra se coloca 10 gramos de etanol al 70 % (relación 1:10), se dejó en agitación a 125 rpm durante 24 horas (agitador magnético). Finalmente, se procedió a centrifugar y separar el sobrenadante (extracto) para su posterior utilización (Otero, 2019).

Obtención y blanqueamiento de la harina

Las cáscaras de plátano, yuca y camote se cortaron en trozos aproximados de 3 × 2,5 cm y se sumergieron inmediatamente en una solución de metabisulfito de potasio (1% p/v) durante 24 horas, para inhibir la oxidación. las cáscaras se secaron en un horno de convección de aire forzado a 60 °C durante 24 horas. Las cáscaras secas se molieron en un molino de cuchillos (Molino desintegrador Biobase MD120). Para las harinas de cáscara resultantes, se blanqueó por soluciones de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) a concentración de 15 % por 3 horas, consecutivamente se secaron y molieron (Singanusong *et al*., 2013). Las harinas pasaron a través de un tamiz de 200 mallas, que proporciona 75 µm partículas. Se realizó un análisis de almidón y amilosa aparente para determinar la presencia del polisacárido (almidón).

Determinación de almidón y amilosa aparente

La determinación de almidón fue basada según la metodología Santacruz *et al*. (2005). Se tomó una muestra de aprox. 2 g (masa exacta), se mezcló con agua destilada con relación 1:10 (muestra:agua), agitación constante. A la muestra se le adicionó 1 % (p/p) de α-amilasa, se calentó hasta llegar a una temperatura de 90 °C por 5 min. Posteriormente se enfrió la muestra y se sometió a centrifugación 4000 rpm, 5 min. El sobrenadante se eliminó y al precipitado se le añadió 10 ml de agua destilada, se agitó manualmente y se centrifugó a 4000 r.p.m. por 5 min para luego eliminar el sobrenadante. El lavado con agua se repite dos veces más. El precipitado se secó en estufa y se registró su masa en una balanza. La diferencia de masa con la masa inicial es la cantidad de almidón existente en la muestra.

El contenido de amilosa aparente se determinó mediante el método descrito por Paredes-Lopez *et al*. (1989). Se mezclaron 80 mg de almidón con 10 ml de NaOH 1 M. Se calentó la mezcla en baño maría a 100 °C por 30 min con agitación cada 5 min. Luego se transfirieron los tubos a una estufa a 100 °C por 1 hora. Posteriormente se tomaron 0.5 ml de la solución, se añadió aprox. 25 ml de agua destilada y 1 ml de solución de yodo/yoduro de potasio (I_2/IK) para ser aforado hasta 50 ml con agua destilada. Finalmente, por medio de un espectrofotómetro (Jenway 2013, Reino Unido) se determinó la absorbancia a 635 nm. Se calculó el valor azul y el porcentaje de amilosa aparente presente en el almidón.

$$Valor\ azul = \frac{\text{Absorbancia}}{2 * \text{g solución} * \text{mg de almidón}} * 100$$

$$\%\ Amilosa = (28{,}414 * \text{Valor azul}) - 6{,}218$$

Elaboración de las películas comestibles

Se formó una solución de harina al 8 % (p/v), glicerol al 3 % (p/v) y se aforó hasta 100ml con agua destilada. La solución se homogenizó en una plancha metálica (Fisher Scientific Isotemp, España) con agitación de 125 rpm durante 15 min, a 90 °C. De acuerdo con el tratamiento se vertió el extracto de cacao al 0,75 % y 1,5 % (p/p). Posteriormente, la solución formadora de películas (SFP) fueron transferidas luego a cajas Petri de 8,5cm de diámetro. El secado de las películas se realizó introduciendo las cajas Petri en una cámara de convección forzada (SCI Finetech Co., Corea) a 27 °C durante 24 horas. Finalmente, las películas comestibles antimicrobianas fueron acondicionadas en un desecador con una solución saturada de bromuro de sodio (57 % de HR) durante 24 horas a temperatura ambiente (22 ºC ± 2 ºC). En el cuadro 1 se muestran las diferentes combinaciones para la formulación de las películas comestibles utilizadas en este trabajo.

Cuadro 1. Codificación de los tratamientos y su composición.

Tratamientos	Código
HCP. 8% + G. 3% + agua	A1B1
HCP. 8% + G. 3% + Extr.C. 0,75% + agua	A1B2
HCP. 8% + G. 3% + Extr.C. 1,5% + agua	A1B3
HCY. 8% + G. 3% + agua	A2B1
HCY. 8% + G. 3% + Extr.C. 0,75% + agua	A2B2
HCY. 8% + G. 3% + Extr.C. 1,5% + agua	A2B3
HCC. 8% + G. 3% + agua	A3B1
HCC. 8% + G. 3% + Extr.C. 0,75% + agua	A3B2
HCC. 8% + G. 3% + Extr.C. 1,5% + agua	A3B3

*HCP= Harina cáscara-plátano. *HCY= Harina cáscara-yuca. *HCC= Harina cáscara-camote. *Extr.C= Extracto de cáscara de cacao CCN-51. *G= Glicerol.

Determinación de las propiedades físicas

Todos los análisis de propiedades físicas de las películas se realizaron por triplicado.

pH

Las soluciones formadoras de películas (SFP) fueron enfriadas hasta tener temperaturas de 30 a 45 °C, para ser medidas con un pH-METRO (WTW™ inoLab™ 7110 Benchtop pH Meter).

Color

El color de las películas fue medido a través de un colorímetro (Konika Minolta CR-400, Japón). Previamente se calibró el blanco (Y=85,70; X=0,3173; y=0,3243). Las lecturas tomadas se analizaron mediante el espacio de color CIE LAB*. Para determinar la diferencia de color, entre las coordenadas de las películas sin extracto con las coordenadas de las películas con extracto, se usó la siguiente ecuación:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Donde:

ΔL* = diferencia en luz y oscuridad (+= más luminoso, -= más oscuro)
Δa* = diferencia en rojo y verde (+ =más rojo, -= más verde)
Δb* = diferencia en amarillo y azul (+ =más amarillo, -= más azul)
ΔE* = diferencia total de color.

Espesor

Las películas se cortaron con medidas de 7 × 2,5 cm y la lectura fue tomada por un micrómetro (Mitutoyo 0-1" Range, Japón) (Anchundia *et al*., 2016).

Humedad

Realizado por el método gravimétrico. En un horno de convección (ED-Binder) a 100 ± 2 ºC se colocó con un máximo del 10 % de la película durante 24 horas. Después de conocer la variable de materia seca por diferencia se aplica la siguiente ecuación:

$$\%\ humedad = \frac{\text{peso incial} - \text{peso final}}{\text{peso incial}} * 100$$

Solubilidad en agua de las películas

Descrito por Otero (2019). Las muestras de películas fueron cortadas en círculos de 2,5 cm de diámetro y secadas a 100 °C por 6 horas para obtener un peso constante. Posteriormente, las muestras fueron inmersas en 100 ml de agua destilada por 24 horas en agitación constante con un agitador orbital (Orbital Shaker MRC). Finalmente, se removió el agua de las muestras y secadas a las condiciones ya descritas. La solubilidad en agua de las películas fue reportada como *pérdida de peso* (%) mediante la ecuación:

$$\%\ pérdida\ de\ peso = \frac{\text{peso incial} - \text{peso final}}{\text{peso incial}} * 100$$

Opacidad

Se cortaron las películas 1 × 4 cm para ser colocadas en cuarzos y tomar lectura por medio de un espectrofotómetro (JENWAY 6320D, Reino Unido) y se determinó la absorbancia con 600 nm (Anchundia *et al*., 2016). La opacidad se determinó de acuerdo con la ecuación:

$$Opacidad = \frac{\text{Absorbancia}}{\text{Espesor}}$$

Permeabilidad al vapor de agua

La determinación de la WVP se realizó en referencia con la norma ASTM E 96-92 y Otero (2019), ligeramente modificado. Las muestras cortadas alrededor de 2 cm de diámetro se colocaron en el orificio superior de la tapa roscada del recipiente de polipropileno, se llenó con agua destilada y se selló herméticamente. Consecutivamente, se registró peso inicial en tiempo cero para luego ser introducidas en una cámara con aire forzado (ED-Binder) a temperatura ambiente (25°C).

Las muestras con sus celdas fueron pesadas por cada hora, con un total de 3 lecturas por muestra. Se calculó con las siguientes ecuaciones:

$$WVP = \frac{\text{WVTR} * \text{espesor}}{[\text{PA1} - \text{PA2}]}$$

Donde: donde WVTR es la tasa de transferencia de vapor de agua. PA1 es la presión sobre la película ejercida en una célula de metacrilato, y PA2 es la presión a la que está sometida la película en el interior de una
célula de metacrilato

Tensión máxima, elongación relativa y módulo de elasticidad (Young)

Las películas con dimensiones de 7 × 2,5 cm fueron previamente acondicionas sobre una malla porosa en un desecador a 57 % de HR durante 24 horas a temperatura ambiente. Bajo la metodología de Anchundia *et al*. (2016), las porciones de películas fueron cargadas a través de un texturómetro (Shimadzu, Japón), la velocidad de la cruceta se ajustó a 10 mm/s con un sistema de mordazas A/TG de acuerdo al método ASTM D882-10 , y se determinó mediante ensayo de tracción (tensión). Los resultados fueron dados directamente por el software Trapecio X.

La tensión máxima se calculó como la relación entre la fuerza de tensión máxima registrada (N/mm^2) y el punto de ruptura o sección transversal inicial de las películas. La elongación relativa resultó de la relación entre la longitud alcanzada al momento de ruptura y la longitud inicial de las muestras, expresada como porcentaje (Lu-Lo). El módulo de elasticidad o Young se calculó a partir de la pendiente de la recta tangente a la porción inicial de la curva esfuerzo-deformación (tramo lineal inicial) (MPa) (Gagliarini *et al*., 2019). Para los cálculos de las propiedades mecánicas se aplicó las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_{max} = \frac{F_{\max}}{S}$$

Donde:
σ_{max} = Tensión máxima de rotura (N mm^{-2})
F_{mx} = Fuerza máxima de rotura (N)
S = Área (mm^2)

$$\varepsilon\ (\%) = \frac{L_f - L_o}{L_o} x100$$

Donde:
$\varepsilon = \text{elongaciónrelativa}$
$L_o = longitud\ inicial$ de la muestra
$L_f = longitud\ final$ de la muestra

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/A}{\Delta l/l}$$

Donde:
E = Módulo de Young (MPa)
σ = Fuerza (N)/Área (mm^2)
ε = Deformación

Análisis estadísticos

Se realizó mediante un análisis de varianza ANOVA con el test de Duncan y con un nivel de significancia $p < 0,05$ (95%). Se utilizó el paquete estadístico InfoStat 2017.1.2.0 para la resolución de los datos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Almidón y amilosa aparente

Los resultados de almidón y amilosa de las muestras de harina se representan en el cuadro 2. La harina resultante con mayor almidón y amilosa aparente fue la harina de cáscara de camote (66,7 % y 45,5 %, respectivamente). En menor proporción se observó la de cáscara de plátano (66,7% y 45,5%, respectivamente) y la harina de cáscara de yuca (43,5% y 32,8%, respectivamente). En este estudio, la metodología para la extracción de almidón de las cáscaras fue mediante el método en seco por lo que existió otros componentes en la harina resultante propio de los tejidos vegetales (Jiménez *et al*., 2019). Por tanto, a la harina resultante se la conocerá como Almidón-Componentes (AC).

Cuadro 2. Contenido resultante de almidón y amilosa aparente presentes en las harinas.

	Almidón %	Amilosa %
Harina cáscara de plátano	52,8 ± 0,3	36,6 ± 0,0
Harina cáscara de yuca	43,5 ± 0,5	32,8 ± 0,0
Harina cáscara de camote	66,7 ± 0,8	45,5 ± 0,1

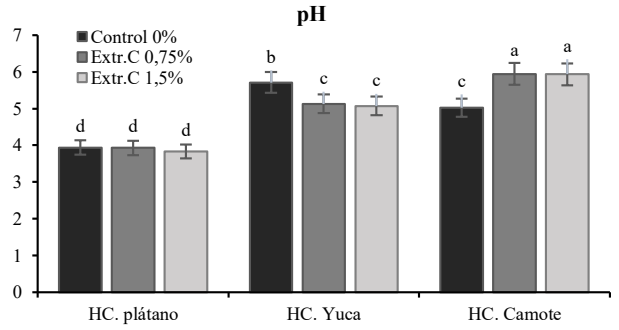
El contenido de almidón influye en las propiedades de barrera y mecánicas, una mayor interacción entre el almidón y el plastificante podría resultar en películas más gruesas, probablemente debido a la formación de enlaces de hidrógeno entre el glicerol y el almidón (Álvarez, 2017). El contenido de amilosa aparente es un parámetro de mucha importancia, debido a que ayuda en la formación de las películas ya que proporciona fuerza y flexibilidad (Jiménez *et al.*, 2019).

Varios autores han estudiado el contenido de almidón y amilosa aparente en cáscara de plátano, yuca y camote. Así, Anchundia *et al.* (2016) informan que la cáscara de plátano contiene un porcentaje de almidón total de 38,11% y de amilosa aparente de 42,22%, estos autores indican que la cáscara de plátano es una fuente interesante para la obtención de almidón. Cabana y Antesana (2007) estudiaron en la yuca el proceso de extracción por vía seca, reportaron que la harina de yuca obtenida contenía una concentración de almidón de 62,15% y de 16,90% de amilosa. Guisar (2009) caracterizó la composición física y química del camote cerro, reportó un contenido de almidón total entre 33,71% a 40,75% y de amilopectina entre el 60,60% a 69,01%. Como se puede observar hay mucha variabilidad en los datos reportados, posiblemente debido a las condiciones de extracción, como tiempo, temperatura, especie y a la actividad enzimática involucrada en los procesos hidrolíticos del almidón

pH

El pH es un factor determinante para la formación de las películas, debido a que interviene en la compatibilidad e interacciones que se generan entre los componentes de la matriz, determina la funcionalidad de las mismas y tiene una influencia significativa en las propiedades mecánicas, fisicoquímicas y morfologías de las películas (Moreno-Henao *et al.*, 2020).

Los resultados obtenidos de las SFP de harina cáscara-yuca y cáscara-camote presentaron pH ≥ 5 y las de cáscara-plátano tuvieron pH de 3,83; 3,93 y 3,94 (Fig. 1). Esto puede deberse a la composición fisicoquímica del plátano durante el período de postcosecha, puesto que presenta una disminución del pH. La cáscara de plátano posee compuestos volátiles que pueden generar compuestos azufrados como el SO_2, que interacciona con el K2S2O5 a pH de 3,3 (Nieva *et al*., 1974; Rojas *et al*., 2019) .



Las letras distintas indican diferencias significativas (p<0,05). *HC= harina de cáscara. *Extr.C= Extracto de cáscara de cacao CCN-51.
Gráfico 1. Resultados de pH.

Según Pérez *et al*. (2017) quienes estudiaron la influencia de procesos de secado y niveles de pH en películas biodegradables a base de almidón de yuca, demostraron como los pH 4 ≥ 6 tuvieron características físicas y

estructurales más estables con las dimensiones y estándares que exige y requiere la norma ASTM D638 para poder evaluar las propiedades mecánicas. Por este motivo, la formación de las películas y características físicas fueron estables en todos los tratamientos realizados.

Como se muestra en el gráfico 1, no hubo diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos con extracto de cacao al 0,75% y 1,5%, de igual forma, para los tratamientos A1B1 junto con A1B2 y A1B3. Sin embargo, para los controles A2B1 y A3B1 sí existió diferencia significativa ($p < 0,05$) con los tratamientos que contienen extracto de cacao (A2B2, A2B3; A3B1, A3B3). Dentro de este marco, el extracto de cáscara de cacao influye en las películas con pH ≥ 5, mas no, significativamente para las películas con pH ≥ 3.

Espesor

La norma ASTM D882 señala que el espesor adecuado para determinar los ensayos de tracción en láminas delgadas debe ser menor a 1,0 mm (0,04 pulg.). Con respecto a esto, los rangos de los resultados obtenidos van desde 0,104 ± 0,02 a 0,140 ± 0,01 mm. Por otro lado, se observaron valores de 0,118 ± 0,01 a 0,116 ± 0,01 mm para las formulaciones con harina de cáscara de plátano. 0,125 a 0,139 mm en los tratamientos con harina de cáscara de yuca, y 0,133 ± 0,01 a 0,140 ± 0,01 mm con los de harina de cáscara de camote.

No existieron diferencias significativas ($p > 0,05$) de los controles A1B1 y A3B1 con los tratamientos A1B3 y A3B3 de películas con extracto de cáscara cacao al 1,5%, pero sí existió con extracto al 0,75%. Al contrario de los tratamientos de películas a base de harina de cáscara de yuca A2B2 y A2B3 quienes tenían diferencia significativa ($p < 0,05$) con el control A2B1.

El espesor en las películas influye sobre la permeabilidad al vapor de agua de las películas, la biodegrabilidad hidrofílicas y sobre las propiedades ópticas, el espesor varía según la cantidad de sólidos presentes en la solución (Huaracha, 2016).

Humedad

Los valores observados fueron desde 16,8 % ± 0,39 % (A2B2) hasta 23,3 ± 6,64 % (A1B2). Los resultados obtenidos de humedad no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos.

Buso-Rios *et al.* (2020) estudiaron el efecto de concentración de almidón de camote, gelatina, glicerol y aceite esencial, demostraron como el contenido de almidón influía en el porcentaje humedad de las películas, obteniendo datos de 5 % al 25 %. La tendencia a disminuir el contenido de humedad, expuesto por Álvarez (2017) puede ser debido a las fuertes interacciones almidón-glicerol, reduciendo así la absorción de agua de la atmósfera.

Solubilidad en agua de las películas

Los valores de solubilidad en agua para la formación de películas con harina de cáscara de plátano fueron 32,7 % (A1B1), 30,6 % (A1B2) y 35,9 % (A1B3), para las formulaciones con harina de cáscara-yuca fueron 30,1 % (A1B1), 32,3 % (A1B1) y 32,2 % (A1B1); y para los tratamientos con harina de cáscara-camote las medias fueron 32,9 % (A1B1), 31,2 % (A1B1) y 38,9 % (A1B1). No hubo diferencia significativa ($p > 0,05$) entre tratamientos con sus controles.

Estos resultados fueron mayores a lo reportado por Anchundia *et al.* (2016) en películas de harina de cáscara de plátano cuyos valores fueron entre 7,21 % y 27.57 % a pesar de ser igual la fuente de almidón, a su vez, mencionan que una alta solubilidad podría ser ventajosa durante la cocción de productos envueltos en películas.

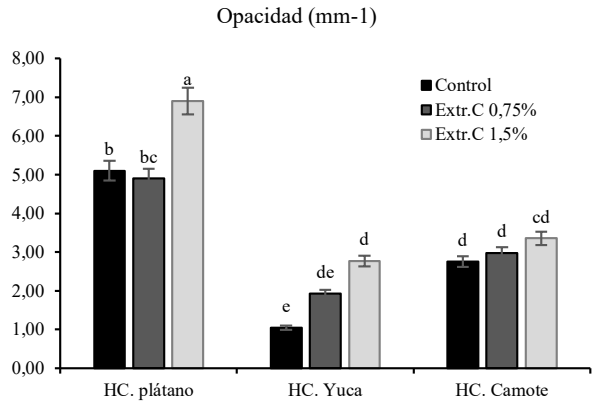
Ayquipa-Cuellar (2018) denota que el porcentaje de solubilidad de agua en las películas está influenciada por la formulación. La solubilidad de las películas comestibles proporciona un indicio de su integridad en un medio acuoso, por tanto, unos valores de solubilidad superiores indican una menor resistencia al agua (Álvarez, 2017). Acosta (2011) expone que en otros casos se requiere que sean solubles debido a la presencia de aditivos.

Opacidad

En los tratamientos A1B3 (6,91 ± 0,6 mm^{-1}), A2B3 (2,76 ± 0,5 mm^{-1}) y A3B3 (3,35 ± 0,4 mm^{-1}) que tuvieron extractos de cáscara de cacao al 1,5% se dieron diferencias significativas ($p < 0,05$) con respecto a sus controles A1B1, A2B1 y A3B1 (5,10 ± 1,5; 1,04 ± 0,4 y 2,76 ± 0,1 mm^{-1}), respectivamente. En los tratamientos A2B2 (4,90 ± 1,96 mm^{-1}) y A3B2 (1,92 ± 0,40 mm^{-1}) también hubo un influjo en escala que es mayor al control y menor al extracto 1,5%. Al contrario, el tratamiento A1B2 (2,98 ± 0,16 mm^{-1}) que contenía extracto de cacao CCN-51 al 0,75%, no aumentó su opacidad en escala como en los demás tratamientos (Gráfico 2).

Los valores de opacidad obtenidos en películas de harina de cáscara-plátano A1B3, A2B3 y A3B3 fueron similares a ensayos experimentales con almidón de cáscara de plátano 7,4 mm^{-1} hasta 12,1 mm^{-1} (Jiménez *et al*., 2019). En el estudio de Orozco *et al*. (2018) sobre una película activa de almidón de yuca, la opacidad fue de 3,16 mm^{-1} hasta 4,44 mm^{-1}, mayores a los resultados obtenidos en tratamientos con harina de cáscara-yuca. Cabe mencionar, entre más bajo sea la opacidad más alto será la transparencia de las películas, y dentro de los resultados obtenidos, las películas con mayor transparencia fueron A2B1 y A2B2.

La opacidad que presenta un material indica la cantidad de luz que pasa a través de él, por lo tanto, se relaciona con la transparencia de la película. (Catucuago, 2018). Según Mohajer *et al.* (2017), el aumento de la opacidad puede relacionarse con la aglutinación en la matriz de la película, la cual reduce el espaciado entre las cadenas de los polímeros e impide el paso de la luz.



Las letras distintas indican diferencias significativas (p<0,05). *HC= harina de cáscara. *Extr.C= Extracto de cáscara de cacao CCN-51.
Gráfico 2. Resultados de Opacidad

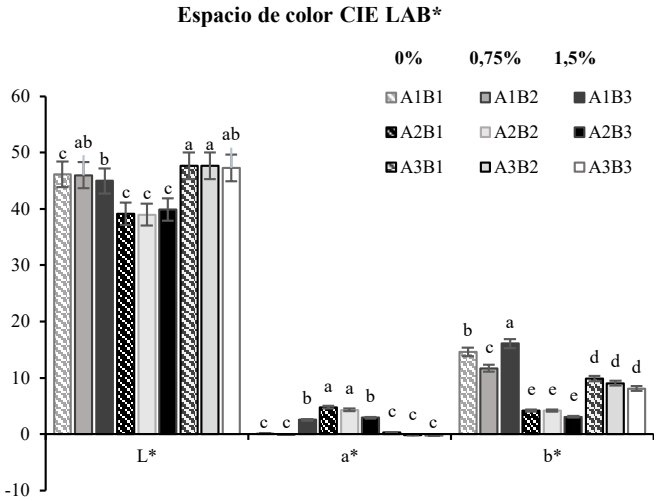
Color

El efecto del porcentaje de extracto 0,75% y 1,5% del parámetro ΔE* influyeron en el color de las películas, pues existió una diferencia con respecto a los controles (A1B1, A2B1, A3B1) de magnitudes 3,31 ± 1,9 (A1B2) y 3,31 ± 0,3 (A1B3), 2,57 ± 0,8 (A2B2) y 4,55 ± 0,7 (A2B3), y 2,68±1,45 y 2,65 ± 1,16 para los tratamientos A3B2 y A3B3. Por otro lado, solo existió diferencia significativa (p < 0,05) del porcentaje de extracto añadido para los tratamientos A2B2 y A2B3, mas no, para los otros tratamientos por lo que pudo haber influido la fuente de almidón. Formentí-Silvestre (2011) expone que un valor de menos de Delta 3 no es perceptible para el ojo humano, el ΔE* de A2B2, A3B2 y A3B3 abarcan el valor de 2 indicando que no es perceptible a simple y A2B3 con magnitudes de 3-4, indica que existió una diferencia ligeramente visible

Con respecto a la escala cromática CIE LAB*, los resultados obtenidos del espacio de color L* dieron resultados desde 38,97 ± 1,63 hasta 47,68 ± 2,95 que se interpreta como medianamente luminoso o claro al tener valores cercanos a la media (50%), las formulaciones A1B3 y A3B3 presentaron diferencias significativas (p < 0,05) con sus controles (Gráfico 3).

En el espacio de color a*, los rangos fueron desde 4,76 ± 2,5 (A2B1) a -0,25 ± 0,1 (A3B3). Los valores negativos de a* son similares a estudios como Alzate (2017) con medias de -1,28 ± 0,06 y Otero (2019) con promedio de -0.43 ± 0.04, donde las películas fueron aparentemente muy transparentes. En este bloque, se encuentra diferencias significativas (p < 0,05) en los tratamientos A1B3 y A2B3 con sus respectivos controles (Gráfico 3).

En cuanto al espacio de color b*, los resultados fueron desde 3,08 ± 0,7 (A2B3) hasta 16,11 ± 1,7 (A1B3). La diferencia significativa (p < 0,05) en el bloque b* solo se manifestó estadísticamente en los tratamientos A1B2 y A1B3 con su control A1B1, por lo que puede haber influido la fuente de almidón (Gráfico 3).



Las letras distintas indican diferencias significativas (p<0,05)
Gráfico 3. Resultados del espacio de color CIE LAB*

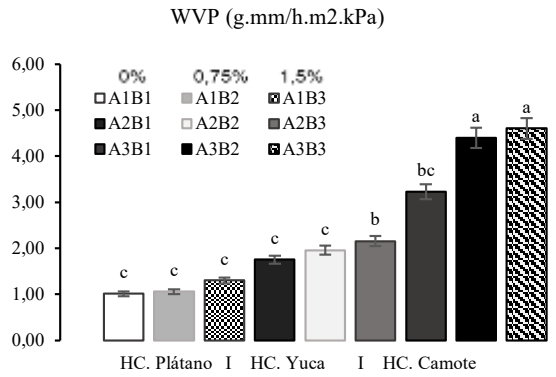
Según Catucuago (2018), las películas que no presentaron diferencias estadísticamente significativas (p > 0,05) en los valores L*, a* y b*, probablemente se deba al punto de saturación de la matriz polimérica al incorporar compuestos fenólicos activos. Se informa, que las películas obtenidas en este ensayo presentaron coloraciones visibles con características translucidas de distintos pigmentos dependiendo de las fuentes de harinas.

Cabe acotar, las películas con harina de cáscara-camote experimentaron cambios de coloración entre temperaturas mayores y menores al ambiente, y bajo vigilancia de este ensayo, se observó que el metabisulfito de potasio ($K_2O_5S_2$) fue la influencia. Se conoce que el principal colorante del camote morado lo constituye en mayor porcentaje los pigmentos denominados antocianinas, estos tienen antocianos monoméricos que son sensibles a variaciones de pH y decoloraciones con bisulfito como el metabisulfito de potasio. Al no ser estables los antocianos la tonalidad aumenta en temperaturas lineales de 40°C produciendo una oxidación que hace que se degraden y pasen de su coloración amarilla a roja y viceversa, esto se ve en la evolución de color de vinos tintos (Catañeda & Vásquez, 2018; Córdova, 2010).

Permeabilidad al vapor de agua (WVP)

Las diferencias significativas (p < 0,05) que hubo del control con las demás formulaciones radican en A2B3

(1,96 g.mm/h.m2.kPa), A3B2 (4,40 g.mm/h.m2.kPa) y A3B3 (4,60 g.mm/h.m2.kPa). A pesar de no existir diferencias significativas ($p > 0,05$), hubo un aumento de permeabilidad según iba aumentando el porcentaje de extracto CCN-51 en la formulación independientemente de la fuente de almidón (harinas), como se observa en el gráfico 4.



Las letras distintas indican diferencias significativas (p<0,05). *HC= harina de cáscara. *Extr.C= Extracto de cáscara de cacao CCN-51.

Gráfico 4. Resultados de permeabilidad al vapor de agua (WVP).

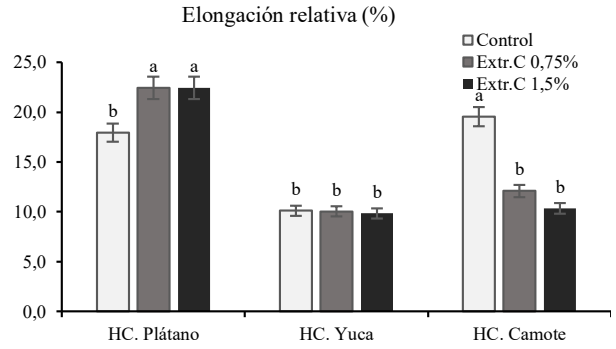
Las permeabilidades obtenidas fueron mayores al 1,2 a 1,6 g.mm/h.m^2.kPa reportadas por Jiménez *et al*. (2019) quienes estudiaron películas comestibles a base de harina de cáscara-plátano. Para las formulaciones con harina de cáscara-camote los resultados fueron 1,75 ± 0,73 a 2,15 ± 0,64 g.mm/h.m^2.kPa, igualmente, mayores a Acosta (2011) con 3,7 y 2,5 10^{-15} g/s.m. Estudios con películas de almidón de yuca nativo como Alzate (2017), reportan WVP de 6,5 g.mm/h.m^2.kPa a 3 g.mm/h.m^2.kPa del mismo modo, fueron menor a los obtenidos en los tratamientos con harina de cáscara-yuca del presente estudio. Por otro lado, los resultados son cercanos al estudio de Díaz (2019), de películas de harina de maíz morado y propóleo (0,729 ± 0,05 a 1,2 ± 0,03 g.mm/h.m^2.Kpa) y Zavala *et al*. (2017) en películas de quitosano (2,09 ± 0,04 a 2,30 ± 0,06 g.mm/h.m^2.Kpa).

Uno de los factores que afecta la WVP es la polaridad ligada íntimamente a la presencia en moléculas de ciertos grupos funcionales, el residuo lignocelulósico de carácter hidrofílico presente en el extracto de la cáscara de cacao reaccionan a los grupos hidroxilos debido a que su presencia disminuye las fuerzas intermoleculares en las cadenas del polímero, dando una mayor movilidad molecular, aumentando su permeabilidad al vapor de agua (Vargas & Gil, 2018; Vázquez-Luna *et al.*, 2019).

Díaz (2019), en su publicación de películas comestibles con harina de maíz morado y propóleo, señaló la alta permeabilidad consecuente de la porosidad, flexibilidad y fragilidad de la solución filmogénica por la harina, al no ser almidón puro, en consecuencia, existe más espacio para que las moléculas de agua migren, además los plastificantes hidrofílicos como el glicerol son compatibles con el material polimérico que forma la película y aumentan la capacidad de sorción de moléculas polares tales como el agua, por tal razón aumenta la permeabilidad de los mismos.

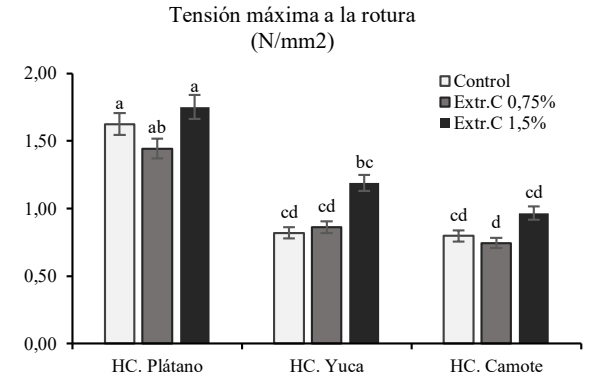
Tensión máxima, elongación relativa y módulo de elasticidad

La elongación relativa tuvo resultados de 9,85 % (A1B2) a 22,44 % (A2B3), la cual presenta una diferencia significativa ($p < 0,05$), existió en los tratamientos A1B2, A1B3 y A3B2, A3B3, con respecto a sus controles. Para tensión máxima a la rotura, los rangos fueron de 0,74 MPa (A3B2) a 1,75 MPa (A1B3), existió diferencia significativa ($p < 0,05$) en los tratamientos A1B2 y A3B2 que corresponde al 0,75% de extracto, y A2B3 que fue el 1,5%. Y para el módulo de Young, los resultados obtenidos van de 4,18 MPa (A3B1) a 12,82 MPa (A2B3), hubo diferencia significativa ($p < 0,05$) en los tratamientos A1B2, A1B3, A2B3, A3B2 y A3B3 en comparación a sus controles. Al ser diferentes fuentes de almidón presentes en las cáscaras, intervino en la influencia del extracto en estos análisis como se observa en los gráficos 5, 6 y 7. La variación del control en la elongación, se deba posiblemente a la concentración del contenido de almidón total y de amilopectina presente en cada fuente.



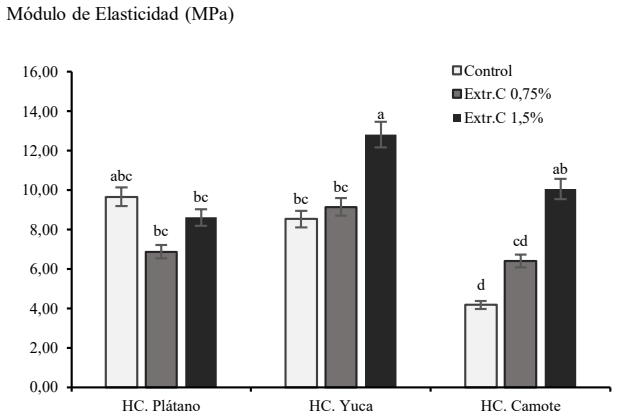
Las letras distintas indican diferencias significativas (p<0,05). *HC= harina de cáscara. *Extr.C= Extracto de cáscara de cacao CCN-51.

Gráfico 5. Resultados de elongación relativa o deformación.



Las letras distintas indican diferencias significativas (p<0,05). *HC= harina de cáscara. *Extr.C= Extracto de cáscara de cacao CCN-51.

Gráfico 6. Resultados de tensión máxima a la rotura



Las letras distintas indican diferencias significativas (p<0,05). *HC= harina de cáscara. *Extr.C= Extracto de cáscara de cacao CCN-51

Gráfico 7. Resultados de módulo de elasticidad

En ensayos científicos como el de Orozco *et al.* (2018), las películas presentaron resultados de tensión máxima 1,33 a 4,43 (MPa). En literaturas como la de Zapata (2020), los resultados manifestados en la elongación relativa en almidón de banano verde (*Musa paradisiaca*) fueron desde 1,96 % hasta 2,47 %. Dentro del estudio realizado por Buso-Rios *et al*. (2020), sobre películas de almidón de camote y concentraciones de aceite de clavo de olor, el módulo de elasticidad obtuvo resultados que van desde 3,6 hasta 4,5 (GPa). En general, estos resultados fueron diferentes en comparación a los conseguidos en este estudio.

Ayquipa-Cuellar (2018), expone que los plastificantes actúan debilitando las fuerzas intermoleculares de enlaces de hidrógeno con el almidón entre las cadenas poliméricas adyacentes de los diferentes biopolímeros, lo que hace que las películas seas más flexibles y con menor fuerza de tensión. En este análisis se observa que la elongación relativa es mayor a la tensión máxima y el módulo de elasticidad, y la tensión máxima es menor a las dos mencionadas. Por tanto, estas características dependen de las condiciones de elaboración de la película.

CONCLUSIONES

Las películas elaboradas con harina de cáscara de plátano presentaron una coloración cercana al naranja pálido con ligera transparencia y mayor opacidad, su coloración no varió visiblemente por influencia del extracto con la película control, mostró mayor resistencia a la tensión máxima de rotura y elongación relativa, el pH y espesor fue menor entre las tres formulaciones de distintas harinas de cáscara, y su permeabilidad fue menor entre las otras dos formulaciones de harina. Las películas con harina de cáscara de yuca revelaron una coloración cercana al café claro, fueron las que mejor mostraron transparencia y menor opacidad, la formulación con extracto al 1,5% tuvo una diferencia algo visible con la formulación control; el pH, tensión máxima, módulo de elasticidad y elongación relativa fue igual a las películas elaboradas con harina de camote, la tensión máxima fue menor en ambas harinas (yuca y camote) a las películas con harina de cáscara-plátano. Las películas con harina de cáscara de camote reflejaron una coloración amarilla con ligera opacidad y transparencia, no hubo diferencia de color visible entre el control y las formulaciones con extracto, sin embargo, el pH y la permeabilidad fueron mayores e iban incrementando proporcionalmente aumentaba el extracto.

El extracto influyó, independientemente de la formulación, en los análisis de opacidad, color y permeabilidad, debido posiblemente a que estos extractos saturan la matriz polimérica y el residuo lignocelulósico reaccionan a los grupos hidroxilos, disminuyendo las reacciones intermoleculares de la matriz. La humedad y la solubilidad en agua de las películas no presentaron diferencias estadísticas significativas en cuanto a la influencia del extracto como la composición polimérica de la película. Los resultados indicaron que es posible la elaboración de películas comestibles con harinas de cáscara que presentan almidón y con extracto de cáscara de cacao CCN-51, debido a que mejoraron algunas propiedades funcionales. Las películas, con diferentes fuentes de almidón presentes en las harinas, pueden ser aplicadas en distintos alimentos según las características que estas presentan.

LITERATURA CITADA

Acosta, L. 2011. Películas comestibles nanoestructuradas de almidón de camote *(Ipomea Batata)*. Tesis. Ciencias Alimentarias. Universidad Veracruzana de Ciencias Básicas. Xalapa-Veracruz.

Álvarez, K. 2017. Efecto del gel de Aloe vera sobre películas a base de harina de plátano. Tesis. Universidad Central Caracas. Caracas-Venezuela.

Alzate, P. 2017. Caracterización fisicoquímica de películas comestibles elaboradas con almidón de mandioca nativo o modificado e hidroxipropil metilcelulosa (HPMC) y actividad antimicrobiana de agentes preservadores retenidos en ellas. Tesis. Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires-Argentina.

Anchundia, K., Santacruz, S., & Coloma, J. 201. Caracterización física de películas comestibles a base de cáscara de plátano *(Musa Paradisiaca)*. Revista Chilena de Nutricion, 43(4):394–399. https://doi.org/10.4067/S0717-751820160004009

Ayquipa-Cuellar, E. 2018. Caracterización física de películas comestibles obtenidas de mucílago de cáscara de tuna *(Opuntia spp)* y almidón de cáscara de papa *(Solanum tuberosum)*. Tesis. Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. Abancay-

Perú.

Buso-Rios, O. I., Velazquez, G., Jarquín-Enríquez, L., & Flores-Martínez, N. L. 2020. Efecto de la concentración de almidón y de aceite esencial de clavo de olor sobre laspropiedades fisicoquímicas de películas biodegradables. Revista Mexicana DeIngenieríaQuímica, 19:1326–1326. https://doi.org/https://doi.org/10.24275/rmiq/Alim965

Catañeda, L., & Vásquez, C. 2018. Determinación del contenido de antocianinas totales del camote morado *(Ipomoea Batatas L.)*. Angewandte Chemie International Edition, 6(11):951–952.

Catucuago, J. 2018. Propiedades antioxidantes de una película comestible de agar y gelatina aditivada con compuestos fenólicos de salvado de sorgo café. Tesis. Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano-Honduras.

Chandrasekara, A., & Josheph, T. 2016. Roots and Tuber Crops as Functional Foods: A Review on Phytochemical Constituents and Their Potential Health Benefits. Int JourFood Science, 1:1–15.

Cobana, M. Antesana, M. 2007. Proceso de extracción del almidón de yuca por vía seca. Revista Boliviana de Química. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia

Córdova, I. 2010. Comparación del comportamiento fermentativo de levadura de panificación y levaduras vínicas y su calidada sobre vinos de mora. Tesis. Universidad técnica de Ambato. Ambato-Ecuador.

Corozo, L., Héctor, E., Macías, F., Vásquez, B., Pinargote, B., Cobeña, G., Mendoza, A., & Arteaga, F. 2020. Micropropagation of two Ecuadorian varieties of yuca *(Manihot esculenta Crantz)*. Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences, 36(3):224–232. https://doi.org/10.29393/CHJAAS36-21MDL0022

Díaz, R. 2019. Evaluación de películas comestibles de harina de maíz morado *(Zea mays L.)* y propóleo en la conservación de palta fuerte *(Persea americana)*. Tesis. Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. Abancay-Perú.

Formentí-Silvestre, J. 2011. Delta E (ΔE). In Calibración y perfilación de monitores, conocimientos fundamentales sobre la edición del color (Ediciones, p. 30).

Gagliarini, N., Diosma, G., Piermaria, J., & Abraham, A. 2019. Películas comestibles a base de kefiran y proteínas de alto valor biológico para. Cytal®-alaccta 2019, 1–11.

García, M., Delgado, F., Escamilla, M., García, B., & Regalado, C. 2018. Métodos modernos para la caracterización de películas y recubrimientos comestibles. BioTecnología, 22(1):37–54.

Gavilanes, I. 2016. Sostenibilidad del sector agroindustrial de Ecuador mediante el compostaje de sus residuos y el uso agrícola de los materiales obtenidos. Tesis. Escuela Superior Polítecnica de Orihuela. Orihuela-Ecuador.

Guizar, A. 2009. Obtención y caracterización física y química del almidón "camote cerro" (Dioscorea spp.). Tesis de Grado. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional CIIDIR Michoacán. Instituto Politécnico Nacional.

Huaracha, M. A. 2016. Estudio de la permeabilidad al vapor de agua en películas modificadas de quitosano. Tesis. Universidad nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa-Perú.

INEC. 2018. Estadística de la producción y áreas de siembra de la yuca en Manabí.

Jiménez, A., Hernández, K. L., Collahuazo-reinoso, Y., & Avilés, R. 2019. Película comestible a partir de cáscara de plátano macho *(Musa paradisiaca L.)*. Ciencia y Tecnología de Alimentos, 29(3):49–57.

Manzanillas, L. 2018. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de féculas de tres variedades de camote *(Ipomoea batata)* para aplicaciones alimentarias. Tesis. Universidad Técnica De Ambato. Ambato-Ecuador.

Mera-Andrade, R., Pineda-Morales, N., Pomboza-Tamaquiza, P., Bejarano-Rivera, C., López-Villacís, I., Ortiz-Tirado, P., Artieda-Rojas, J., Muñoz-Espinoza, M., & Carrasco-Silva, A. 2018. Prácticas ancestrales en el cultivo de *Manihot esculenta* Crantz en comunidades indígenas amazónicas del Ecuador. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 21(1):124–130.

Mohajer, S., Rezaei, M., & Hosseini, S. 2017. Propiedades físico-químicas y microestructurales de la gelatina de pescado. Carbohydrate Polymers, 157:784–793. https://doi.org/doi10.16/j.carbpol.201661.

Moreno-Henao, M., Bohórquez-Pérez, Y., Ayala-Sánchez, L., & Valenzuela-Real, C. 2020. Efecto del pH sobre propiedades mecánicas, fisicoquímicas y morfológicas en películas comestibles multicomponentes. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 23(1):1–8. https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n1.2020.1457

Nieva, F. S., Bueso, C. E., & Hernánd, I. 1974. Studies on the Freezing of Green Plantains (*Musa paradisiaca*). In II. Sulfitation to Control Browning (Editorial, pp. 92–106).

Ordoñez, E. S., Leon-Arevalo, A., Rivera-Rojas, H., & Vargas, E. 2019. Cuantificación de polifenoles totales y capacidad antioxidante en cáscara y semilla de cacao *(Theobroma cacao L.*), tuna (O*puntia ficus indica Mill*), uva (*Vitis Vinífera*) y uvilla (*Pourouma cecropiifolia*). Scientia Agropecuaria, 10:175–183. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17268/019.02.02

Oropeza, R., Montes, A. I., Alberto, C., & Pereira, P. 2016. Películas biodegradables a base de almidón: propiedades mecánicas, funcionales y biodegradación. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 7(1):65–093.

Orozco, J., Villa, C. C., & Mejía, C. M. 2018. Efecto de la inclusión de una fibra prebiótica: inulina en películas comestibles de almidón de yuca. Revista Informador Técnico, 82(2):95–98.

Otero, V. 2019. Desarrollo y caracterización de recubrimientos comestibles antimicrobianos para la conservación de productos derivados de la pesca. Tesis. Universidad Pública de Navarra. Navarra-España.

Paredes-Lopez, 0., Schevenin, M. L., Hernandez-Lopez, D., & Carabez- Trejo, A. 1989. Amaranth starch isolation and partial characterization. Starch/Stárke., 41(6):205–207. https://doi.org/10.10021989410602

Pérez, H., Covo, L., & Tuirán, R. 2017. Influencia del proceso de secado y de los niveles de PH en la creación de películas de naturaleza biodegradable a base de almidón de yuca sustitutas del plástico. Centro de Investigación Para El Desarrollo y La Innovación, 174–179.

Pochon, D. O., Koslowski, H. A., Picot, J. A., & Navamuel, J. M. 2010. Efectos de la sustitución parcial de maíz por harina integral de mandioca sobre variables productivas de cerdos en crecimiento. Revista Veterinaria, 21(1):38–42. https://doi.org/10.30972/vet.2111848

Pozo, Lady. 2019. Extracción y caracterización del almidón de plátano verde *(Musa paradisiaca)* producido en el sector Untal, parroquia El Chical, y su potencial uso como aditivo en la elaboración de pan blanco. Tesis. Universidad Politécnica Estatal del Carchi. Carchi-Ecuador.

Rojas, A. F., Rodríguez, S., & Montoya, J. 2019. Evaluación de Alternativas de Aprovechamiento Energético y Bioactivo de la Cáscara de Plátano. Información Tecnológica, 30(5):11–24. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-076420190050011

Sandoval, J. 2017. Inclusión de diferentes niveles de harina de cáscara de yuca (*Manihot Esculenta*, Crantz) en la alimentación de cuyes (*cavia porcellus L.*) De la línea Perú en las fases de crecimiento y acabado. Tesis. Universidad Nacional Agraria De La Selva. Tingo María-Perú.

Santacruz, S., Andersson, R., & Åman, P. 2005. On the presence of starch bound phosphate in potato leaf starch. Carbohydrate Polymers, 59(4):537–539. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.09.020

Singanusong, R., Tochampa, W., Kongbangkerd, T., & Sodchit, C. 2013. Extraction and properties of cellulose from banana peels. Suranaree J. Sci. Technol., 21(3):201. https://doi.org/10.1442014.16

Sotelo, L., & Alivis, A. 2019. Extracción de compuestos con actividad antimicrobiana a partir de subproductos del cacao. Revista Alimentos Hoy, 26. https://acta.org.co/acta_sites/alimentoshoy/ article5

Vargas, I., & Gil, C. 2018. Elaboración y caracterización de biocompuestos usando como matriz PLA reforzado con cascarilla de cacao. Tesis. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá-Colombia.

Vázquez-Luna, A., Santiago, M., Rivadeneyra-Domínguez, E., & Díaz-Sobac, R. 2019. Películas comestibles a base de almidón nanoestructurado como material de barrera a la humedad. CienciaUAT, 13(2):152. https://doi.org/10.29059/cienciauat.v13i2.1105

Veloz, A. 2019. Cuantificación y análisis proximal de residuos agroindustriales generados en despulpadoras de fruta del distrito metropolitano de Quito. Tesis. Universidad Central Del Ecuador. Quito-Ecuador.

Zapata, D. 2020. Biopelícula a partir de almidón de banano verde (*Musa paradisiaca*) y mandioca (*Manihot esculenta*). Revista Científica Pakamuros, 8(4):15–30. https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v8i4.146

Zavala, M., Castañeda, J., Rivera, M., & Norma, D. la F. 2017. Evaluación de propiedades mecánicas y permeabilidad al vapor de agua de películas de quitosano. Jóvenes En La Ciencia, Revista de Divulgación Científica, 3(1):27–31.

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

EFECTO DE BIOINSUMOS SOBRE LA SOBREVIVENCIA Y CRECIMIENTO VEGETATIVO DE INJERTOS DE CACAO (*Theobroma cacao* L.)

EFFECT OF BIOINPUTS ON THE SURVIVAL AND VEGETATIVE GROWTH OF CACAO GRAFTS (*Theobroma cacao L.*)

Luis Campos-Ramos[1], Jesús Acosta-Mata[1], Leonardo Lara-Rodríguez[1], Ramón Silva-Acuña[2]

[1]Univesidad de Oriente, *Campus* Los Guaritos; Departamento de Ingeniería Agronómica
[2]Postgrado en Agricultura Tropical, *Campus* Juanico. Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Maturín, Venezuela

Correo electrónico: llara.udomonagas@gmail.com

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo original

Recibido:
17/08/2024

Aceptado:
1212/2024

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista ESPAMCIENCIA
15(2):42-50

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v15i2.530

Resumen

Con el objetivo de determinar el efecto de humus líquido de lombriz, agua de coco joven, extractos de sábila y moringa sobre la sobrevivencia y el crecimiento vegetativo de injertos de cacao, se realizó un estudio en la Hacienda San José, estado Sucre, Venezuela. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con arreglo de parcelas divididas, aplicando diez tratamientos: aspersiones con extractos de sábila, moringa, agua de coco, humus líquido y un testigo. Los cultivares de cacao evaluados fueron "Porcelana" y "Ocumare 61", con cuatro repeticiones y 28 plantas por unidad experimental. Las plantas fueron asperjadas en tres momentos, a intervalos de 14 días después de la injertación. Se midieron la sobrevivencia, longitud, diámetro, número de hojas del injerto, así como el ancho, longitud y área foliar de la segunda hoja proximal. Los resultados mostraron que los bioinsumos evaluados tuvieron un efecto bioestimulante, favoreciendo la sobrevivencia y promoviendo el crecimiento vegetativo de ambos cultivares en comparación con el testigo, que no recibió tratamiento. La aplicación de los bioinsumos resultó en una mayor supervivencia y mejores indicadores de crecimiento en ambos genotipos.

Palabras clave: Bioinsumos, agua de coco, extracto de moringa, extracto de sábila, humus líquido.

Abstract

A study was conducted to determine the effect of liquid vermicompost, young coconut water, aloe vera, and moringa extracts on the survival and vegetative growth of cacao grafts at Hacienda San José, Sucre State, Venezuela. A randomized block design with a split-plot arrangement was used, applying ten treatments: sprays with aloe vera, moringa, coconut water, liquid vermicompost extracts, and a control. The evaluated cacao cultivars were "Porcelana' and "Ocumare 61", with four replications and 28 plants per experimental unit. Plants were sprayed at three intervals, spaced 14 days after grafting. Measurements included survival rate, graft length, diameter, number of leaves, as well as the width, length, and leaf area of the second proximal leaf. Results indicated that the evaluated bioinputs exhibited biostimulant effects, enhancing survival and promoting vegetative growth in both cultivars compared to the control, which did not receive treatment. The application of bioinputs resulted in higher survival rates and improved growth indicators in both genotypes.

Keywords: Bioinputs, coconut water, moringa extract, aloe vera extract, liquid vermicompost.

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) se cultiva comercialmente en 23 países de América, siendo un cultivo de gran impacto económico, social, ambiental y cultural. En América, representa el sustento de alrededor de 150.000 agricultores; además, el cacao está presente en más de 50 países, distribuidos por cuatro continentes —África, América, Asia y Oceanía—, cultivado en regiones cálidas y húmedas (IICA, 2017).

Cuvi-Ramírez *et al*. (2013) señalan que una de las principales limitantes para el cultivo de cacao es la obtención de material de propagación de buena calidad. Esto se debe a que la incompatibilidad genética afecta la producción de frutos, lo que obliga a recurrir a la reproducción asexual mediante clones (CATIE, 2012). Por otro lado, Motamayor (2016) indica que, aunque la reproducción sexual tiene ventajas, presenta desventajas al retrasar el inicio de la producción en comparación con los clones. Además, la alta heterogeneidad genética resultante puede generar características no deseadas, lo que se puede solucionar mediante la reproducción asexual por injertos (CNC, 2012).

Dostert *et al.* (2011), aseveran que los cultivares empleados actualmente presentan diferentes características morfológicas, agronómicas y moleculares; que permiten clasificarlos en tres grupos genéticos: criollos, forasteros y trinitarios, donde, las formas de criollos son genéticamente más homogéneas que el forastero —con alta variabilidad genética— y el trinitario que involucra a los híbridos entre los dos primeros grupos. Particularmente, el cacao "Criollo", originario del norte de Sudamérica y Centro América, posee un sabor suave y aromático, sigue siendo preferidos y empleados a nivel comercial y de investigación, como es el caso del clon "Porcelana" que es bastante homogéneo, clasificado como un cacao extrafino, mientras que el clon "Ocumare 61" es un tipo de cacao heterogéneo (Ramis *et al.,* 2020).

En otro orden de ideas, IICA (2015) refiere que la producción de cacao, tiene el reto de aumentar la resiliencia a los riesgos relacionados con el cambio climático y el ambiente. En el mismo sentido, se pronostica cambios considerables que afectarán la economía agrícola y cacaotera, para América Latina y el Caribe, como resultado de las variaciones en las precipitaciones y las temperaturas ocasionadas por el cambio climático, así como también el incremento de los monocultivos, uso inadecuado de los agroquímicos, utilización de semillas no certificadas e incumplimiento de las normas sanitarias (CEPAL *et al.*, 2015).

En plantaciones de cacao y café bajo sistemas agroforestales ubicada en Costa Rica y Perú, Moreira (2015) señala que se ha logrado atenuar la temperatura, radiación, humedad relativa, velocidad del viento, evapotranspiración, entre otros factores que amortiguan los efectos del cambio climático, tales efectos, afectan negativamente los cultivos bajo un manejo técnico apropiado, los cultivos, pueden alcanzar altos niveles de producción, plantaciones duraderas y sustentables, en las condiciones agroecológicas adecuadas de clima y suelo para una producción exitosa y sostenible, enmarcados en las practicas recomendadas (IICO, 2009); además, la adecuada selección del material genético es fundamental, esto porque determina el tipo de mercado al cual estará dirigida la producción; así como también fijará el manejo agronómico y postcosecha, bien sea a partir de plantas de semillas o por medio de clones, elegidos de jardines varietales o clónales.

Por otro lado, la elección de clones, involucra a plantas sometidas al proceso de injertación y trasplante, por lo que sufren estrés, que puede atenuarse con el empleo de sustancias bioestimulantes, y constituye una alternativa para recuperar y mantener la calidad de las plantas tratadas y proveen tolerancia tanto a plagas, enfermedades y agentes abióticos (Granados, 2015). De manera similar, Angulo (2009) agrega que la incorporación de bioestimulantes al proceso productivo, ha demostrado ser necesario para las plantas, que, al mismo tiempo de requerir agua, luz solar y nutrimentos, para crecer, también requieren aminoácidos, enzimas y/o fitoreguladores que se suministran con el empleo de bioestimulantes de origen natural.

Benavides (2021) expresa que los bioestimulantes de origen orgánico, son compuestos que incrementan el crecimiento y el vigor de las plantas, favoreciendo la absorción de agua y nutrimentos, sin ser fertilizantes tienen impacto benéfico en las plantas, en algunos casos son naturales y no contienen químicos añadidos ni reguladores de crecimiento. Un ejemplo de estos es el agua de coco —líquido contenido en el interior de los cocos— de color transparente, rara vez resulta un poco opaco, con sabor muy característico que varía entre las especies de cocotero, esta sustancia —agua de coco— es uno de los nutrimentos más puros y alimenticios que ofrece la naturaleza (Rodríguez, 2011).

Jean *et al*. (2009) aseveran que el agua de coco contiene 12 minerales, vitamina C, proteínas, reguladores de crecimiento y otros compuestos químicos, cuyos niveles varían entre el coco tierno y el maduro. En el coco tierno, los contenidos de reguladores de crecimiento son significativamente más altos. Por su parte, Contreras (2017) señala que, en las últimas décadas, diversos estudios han sugerido que el agua de coco podría actuar

como un bioestimulante en la producción de cultivos. Evidencias obtenidas en experimentos *in vitro* respaldan estas hipótesis, ya que las hormonas presentes en el agua de coco pueden estimular el crecimiento vegetal. Asimismo, compuestos activos como el nitrógeno y el fósforo actúan como factores de transcripción, promoviendo el desarrollo de la planta en sus etapas iniciales.

Por otro lado, García (2015) señala que el extracto de las hojas de moringa (*Moringa oleífera*) se utiliza para aprovechar los reguladores de crecimiento que contiene, los cuales son efectivos para promover el crecimiento de las plantas y mejorar el rendimiento en 25-30 % en diversos cultivos, como cebolla, pimentón verde, soya, maíz, sorgo, café, té, chile y melón. Una de las sustancias más activas en este extracto es la zeatina, una citoquinina que, aplicada de manera foliar junto con otros fertilizantes, riego y prácticas agrícolas, favorece un crecimiento adecuado en las plantas. También, Pérez (2012) reporta que el extracto de las hojas de moringa contiene un total de 18 aminoácidos, que son precursores importantes de los reguladores de crecimiento de las plantas. Yasmeen *et al*. (2012) destacan que la alta concentración de ascorbatos, compuestos fenólicos y minerales como el K y el Ca en el extracto de moringa contribuye a una mezcla equilibrada de sustancias que promueven el crecimiento vegetal.

García *et al*. (2020) señalan que el extracto de sábila (*Aloe vera*) puede utilizarse como medio de propagación *in vitro* para las especies prebióticas *Lactiplanti bacillus plantarum* y *Lactobacillus casei*. Este extracto contiene antraquinonas, carbohidratos como el acemán y la emodina, enzimas como la catalasa, lipasa y oxidasa, además de compuestos inorgánicos como K, P, Cu y Fe. También contiene compuestos orgánicos como ácido salicílico, esteroides, 20 de los 22 aminoácidos conocidos, proteínas, lectinas, azúcares como manosa y glucosa, y vitaminas B1, B2, B6 y C; así como también se encuentran hormonas auxinas y giberelinas, que estimulan y favorecen el crecimiento de las plantas

El humus líquido es uno de los fertilizantes orgánicos más utilizados en la agricultura orgánica; sin embargo, una de sus desventajas es el gran volumen de material necesario para satisfacer los requerimientos de las plantas. En este sentido, las aspersiones foliares de humus líquido permiten reducir considerablemente los volúmenes aplicados; del mismo modo, favorecen ciertos procesos fisiológicos de las plantas debido al efecto hormonal generado por las aplicaciones foliares de esta solución (Pérez *et al*., 2019).

La información generada para Venezuela relacionada al uso de bioestimulantes orgánicos en el cultivo de cacao es limitada; en función de los anteriores argumentos, el objetivo fue determinar el efecto del humus líquido de lombriz, agua de coco tierno, extractos de sábila y moringa sobre la sobrevivencia y crecimiento vegetativo de injertos de los cultivares de cacao “Porcelana” y “Ocumare 61” a nivel de vivero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la investigación

La investigación se realizó en la Hacienda San José C.A., ubicada en el municipio Benítez del estado Sucre, Venezuela. Con ubicación geográfica a una Longitud Oeste de 10º33'42" y Latitud Norte de 63º10'36" y altitud 54 m. La zona de vida corresponde al bosque seco tropical (BsT), con precipitación pluviométrica anual promedio comprendida entre 1400 y 1500 mm, temperatura media entre 25 y 27 °C y humedad relativa de 65 y 70 % (Ramis *et al.*, 2020).

Obtención y concentración de los bioinsumos

El agua de coco empleada fue extraída de cocos tiernos, aplicada en la concentración de 15 %. Se utilizó humus líquido de lombriz roja californiana de origen comercial Humus-Plant's al 10 %. El extracto acuoso de sábila se obtuvo licuando 50 mL de cristales de sábila en 500 mL de agua, tamizados y luego se completó con agua el volumen para un litro, en una concentración de 5 %. El extracto acuoso de moringa se obtuvo pesando 200 g de hojas frescas de moringa, cortadas finamente y trituradas en licuadora, con 500 mL de agua y posteriormente tamizado, rasándose su volumen final con agua a un litro, para la concentración de 20 %.

Conducción del experimento

El proceso de injertación comenzó con la selección de varetas de plantas sanas y productivas de los clones “Porcelana” y “Ocumare 61”. Previamente, las herramientas de corte fueron desinfectadas rociándolas con una solución de agua clorada al 30 % (300 mL de cloro por litro de agua). A continuación, se seleccionaron los patrones del clon “Río Caribe”, con 3 meses de edad y en fase de vivero, cuyo diámetro de tallo oscilaba entre 3 y 3,5 mm. El manejo fitosanitario de los patrones incluyó la aplicación del fungicida Carbendazina (Percussion 500®) a una dosis de 30 mL/20 L de agua, y del insecticida Metomil (Kuik 40 SP®) a una dosis de 30 g/20 L de agua. Desde el momento de la injertación, se realizaron aplicaciones foliares con los bioinsumos objeto de esta investigación. El riego se efectuó con el uso de manguera, cada 2 o 3 días, dependiendo de la humedad observada en el sustrato. El control de arvenses se realizó manualmente

en las bolsas de siembra, mientras que en los alrededores se utilizó escardilla y machete.

Selección del material vegetal e injertación

Se seleccionó patrones de la variedad "Rio Caribe" que tenían 3 meses de edad, con diámetro de tallo entre 3 y 3,50 mm y varetas de plantas sanas y productivas de los cultivares "Ocumare 61" y "Porcelana".

La injertación se realizó por la técnica de aproximación, protegiendo el punto de injertación de la lluvia con una cinta plástica transparente, retirándose 21 días después.

Aplicación de los bioinsumos

La aspersión con los bioinsumos se realizó en tres ocasiones, a intervalos de 14 días. La primera a los 21 días, que correspondió con la retirada de la cinta protectora de la yema injertada, y las otras dos aspersiones a los 35 y 49 días, respectivamente, después de la injertación. La aplicación de los bioinsumos se realizó con asperjadora costal manual marca Bellota®, en las concentraciones previamente establecidas. Las aspersiones se realizaron sin la incidencia de lluvias y no se empleó ningún tipo de coadyuvante.

Variables experimentales

Se cuantificó la sobrevivencia y seis variables de crecimiento en los injertos a los 77 días después de la injertación, que correspondió a 56 días después de la primera aplicación de los bioinsumos (ddab). La sobrevivencia se determinó por el porcentaje (%) de injertos que permanecieron vivos hasta el final del experimento, en relación al total injertado inicialmente. La longitud de los injertos se determinó con una regla graduada flexible, ubicándose desde la inserción o base del injerto hasta la yema terminal, expresado en cm; el diámetro del injerto se cuantificó con un vernier digital marca Mitutoyo Absolute Digimatic®, a dos centímetros de su punto de inserción y las medidas se refirieron en mm.

Se determinó el número de hojas del injerto por conteo, y para determinar la longitud, ancho y área foliar fue seleccionada la segunda hoja proximal del injerto. La longitud, se midió partiendo de la unión del peciolo al ápice, con una regla graduada flexible, expresada en centímetros; con la misma regla graduada se midió el ancho de la hoja, en su parte más ancha, expresándose sus dimensiones en centímetros.

Para cuantificar el área foliar del injerto, se empleó la técnica de las medidas relacionadas. Se dibujó la silueta de la segunda hoja del brote principal del injerto en papel milimetrado, se recortó con tijeras para determinar su área foliar y en una balanza analítica OHAUS Adventurer® se determinó su masa; de modo análogo, se recortó una sección de 1 cm^2 del papel milimetrado para registrar su masa. Finalmente, se calculó el área foliar por la relación de masas de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\mathrm{AF} = \frac{(1\mathrm{cm}^2)(\mathrm{MTHD\ g})}{(\mathrm{MCCM\ g})}$$

AF: Área foliar (cm^2).
1 cm^2: Área del papel milimetrado de referencia.
MTHD: masa total de las hojas dibujadas en el papel milimetrado.
MCCM: masa de 1 cm^2de papel milimetrado (g)

Diseño experimental y análisis estadístico

Se empleó el diseño de bloques al azar, con arreglo en parcelas divididas, siendo la parcela principal constituida por las plantas injertadas de los cultivares "Ocumare 61" y "Porcelana" sobre el patrón de la variedad Rio Caribe y las subparcelas correspondió a las plantas de cada uno de los injertos tratadas con cinco insumos: extracto de sábila, extracto de moringa, agua de coco, humus líquido y un testigo sin aplicación, como resultado de la combinación se originaron diez tratamientos, con cuatro repeticiones para un total de 40 unidades experimentales constituidas de 28 plantas cada unidad.

Los valores cuantificados de cada variable, inicialmente fueron explorados para verificar la normalidad de los errores y la homogeneidad de las varianzas, por las pruebas de Shapiro-Wilk y la prueba de Levene, respectivamente. Luego de verificados estos dos supuestos, se procedió a realizar el respectivo análisis de la varianza, las comparaciones de las medias entre tratamientos se realizaron por la prueba de Tukey a 5 % de probabilidad con el programa estadístico InfoStat Versión 2020 (Di Rienzo *et al.,* 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sobrevivencia, longitud y diámetro de los injertos

En el cuadro 1, se resumen las pruebas de Shapiro-Wilk y de Levene, relacionadas con normalidad de los errores y homogeneidad de varianzas respectivamente, indicando distribución normal, y varianzas homogéneas, para las variables sobrevivencia, longitud y diámetro de los injertos, tal condición de parametricidad, permite el análisis estadístico de los datos de las variables mencionadas, con la aplicación de los diferentes bioinsumos. De manera similar, y por la prueba de Fisher,

en el análisis de varianza, se constató efecto significativo exclusivamente para los bioinsumos en las tres variables.

Cuadro 1. Resumen del análisis de varianza para las variables sobrevivencia, longitud, diámetro a los 77 días después de la injertación.

FV	GL	Cuadrados medios		
		Sobrevivencia (%)	Longitud (cm)	Diámetro (mm)
Cultivares (Cul)	1	295,94^{ns}	5,65^{ns}	0,46^{ns}
Error (a)	3	82,79	4,11	0,34
Bioinsumos (Bio)	4	2296,80*	20,31*	1,73*
Cul x Bio	4	111,96^{ns}	4,28^{ns}	0,29^{ns}
Bloques	3	818,23	17,60	0,83
Error (b)	24	84,99	4,28	0,31
Shapiro Wilk		0,09^{ns}	0,48^{ns}	0,60^{ns}
Levene		0,36^{ns}	0,34^{ns}	0,15^{ns}
CV (%)		22,45	19,78	16,32

* Significativos a 5 % por la prueba de F; NS= No significativo

El cuadro 2, muestra las medias de las variables sobrevivencia, longitud y diámetro de los injertos, y la prueba de Tukey al 5 %, donde se evidencia que los tratamientos con bioinsumos son estadísticamente iguales y difieren claramente del testigo que muestra valores marcadamente inferiores al resto. La sobrevivencia con los bioinsumos supera 80 % mientras que en el testigo alcanza 49 %. La misma tendencia se manifiesta en las variables sobrevivencia y longitud del brote, mientras que para el diámetro del injerto los tratamientos extracto de moringa, sábila, el agua de coco, y humus líquido son estadísticamente iguales, y el testigo, solo se asemeja estadísticamente al tratamiento a base de humus líquido.

Cuadro 2. Comparación de los valores promedios de las variables sobrevivencia, longitud, diámetro del cacao a los 77 días después de la injertación, por la prueba de Tukey a 5 % de probabilidad.

Bioinsumos	Sobrevivencia (%)	Longitud (cm)	Diámetro (mm)
Extracto de moringa	86,14 a	11,53 a	3,87 a
Agua de coco	80,25 a	11,44 a	3,76 a
Extracto de sábila	89,80 a	10,84 a	3,51 a
Humus liquido	88,60 a	10,83 a	3,37 ab
Testigo	49,21 b	7,67 b	2,69 b
DMS	13,57	3,04	0,82

Valores promedios seguidos de letras iguales en columna no difieren estadísticamente.

En referencia a la sobrevivencia, Casaverde (2014) evaluando la mortandad en plantas injertadas de cacao del clon CCN-51, con el uso de bioestimulantes —Agrobiol, Fertiprotec, Phyllum, Aminovigor premium, Fertiprotec y un testigo— no mostraron diferencia estadística significativa a los 63 ddab, indicando que estos bioestimulantes no influyen en la sobrevivencia de plantas injertadas de cacao clon CCN-51, teniendo como promedio 98,60 % de sobrevivencia. Distinto a la investigación anterior, los tratamientos con bioinsumos si influyeron notablemente en la sobrevivencia de los cultivares “Ocumare 61” y “Porcelana”, variando entre 80,25 y 89,80 %, con respecto al testigo quien apenas alcanzó 49,21 %, a los 77 días después de la injertación.

En cuanto a la longitud de los injertos, Angulo (2009), al evaluar injertos del cultivar Nacional a los 60 días, encontró resultados similares a los resultados obtenidos en esta experiencia, al aplicar los bioestimulantes sintéticos, Bioplus, Roosmost, Biozyme y Ergostin, quienes se comportaron de manera similar entre sí a diferentes dosis, y la vez se diferenciaron altamente del testigo, con promedio de 13,25 cm de altura a los 60 días, valor muy cercano a los encontrados en este experimento a los 77 días después de la injertación.

Por otro lado, Zúñiga (2013) a los 60 días de estudio con injertos de CCN-51, no encontró diferencia en la multiplicación vegetativa, aplicando Evergreen a razón de 4 $mL.L^{-1}$ de agua, con un diámetro promedio de 2,40 mm; en contraste, en esta experiencia, se evidenció diferencias significativas a los 77 días después de la injertación, los tratamientos con bioinsumos mostraron los valores de diámetro (mm) más altos con respecto al testigo y con un promedio superior al reportado por Zúñiga (2013), atribuible por un lado a las características genéticas del material empleado, así como también a las diferencias de las fuentes de los bioinsumos; sin embargo, Angulo (2009) detectó diferencias altamente significativas entre los productos con respecto al testigo y no reportó diferencias para el diámetro del injerto a los 60 días, del cultivar Nacional, para tratamientos a base de Bioplus, Roosmost, Biozyme y Ergostin, a diferentes dosis, con una media general de 4,80 mm, promedio de los bioestimulantes de 4,90 mm y el testigo promedio 4,10 mm de diámetro. Comportamiento similar se observó en esta experiencia, donde la diferencia encontrada ocurre entre los tratamientos con bioestimulantes en relación al testigo, con un promedio que varía entre 3,37 y 3,87 mm de diámetro, no muy distante al reportado por este autor. Estas diferencias se pueden atribuir, a las potencialidades propias ofrecidas por los genotipos empleados en respuesta a diferentes bioinsumos.

Número de hojas, longitud, ancho de las hojas y área foliar del injerto

En el cuadro 3, se resume las pruebas de Shapiro-Wilk y de Levene, relacionadas con normalidad de los errores y homogeneidad de varianzas respectivamente, indicando distribución normal y varianzas homogéneas, para las variables número de hojas, longitud, ancho de las hojas y

área foliar de los injertos, tal condición de parametricidad, permite el análisis estadístico de los datos de las variables antes mencionadas, con la aplicación de los diferentes bioinsumos. De manera similar, y por la prueba de Fisher, en el análisis de varianza, se constató efecto significativo exclusivamente para los bioinsumos en las cuatro variables.

Cuadro 3. Resumen del análisis de varianza para las variables número de hojas, longitud de hoja; ancho de hoj y área foliar 77 días después de la injertación.

FV	GL	Cuadrados medios			
		77 días después de la injertación			
		Número de hojas	Segunda hoja proximal		
			Longitud (cm)	Ancho (cm)	Área foliar (cm2)
Cultivares (Cul)	1	0,08^{ns}	32,60^{ns}	1,46^{ns}	11776,56^{ns}
Error (a)	3	0,52	8,00	1,95	1518,41
Bioinsumos (Bio)	4	0,95*	43,95*	5,12*	12808,22*
Cul x Bio	4	0,24^{ns}	10,50^{ns}	0,73^{ns}	1935,61^{ns}
Bloques	3	1,15	12,73	1,96	5460,69
Error (b)	24	0,25	8,23	1,18	846,28
Shapiro Wilk		0,34^{ns}	0,09^{ns}	0,49^{ns}	0,65^{ns}
Levene		0,14^{ns}	0,46^{ns}	0,69^{ns}	0,62^{ns}
CV (%)		13,56	24,36	24,05	26,35

* Significativos a 5 % por la prueba de F; NS= No significativo

En el cuadro 4, la prueba de comparación de promedios de Tukey para las variables número de hojas, longitud de hoja, ancho de hoja y área foliar de los injertos, se evidencia que los bioinsumos extracto de moringa, extracto de sábila y agua de coco, siempre muestran ser estadísticamente iguales entre sí y superiores en promedio al testigo, mientras que el humus líquido, únicamente para las variables número de hojas y ancho de la hoja, se comporta similar al testigo, sin llegar a diferenciarse estadísticamente de los otros bioinsumos.

Cuadro 4. Comparación de los valores promedios de las variables número de hojas, longitud de hoja; ancho de hoja y área foliar del cacao, a los 77 días después de la aplicación de los bioinsumos, por la prueba de Tukey a 5 % de probabilidad.

Bioinsumos	Número de hojas	Segunda hoja proximal		
		Longitud (cm)	Ancho (cm)	Área foliar (cm^2)
Extracto de moringa	3,94 a	13,91 a	5,19 a	139,30 a
Agua de coco	3,89 a	12,82 a	4,82 a	127,40 a
Extracto de sábila	3,86 a	12,26 a	4,97 a	119,13 a
Humus liquido	3,74 ab	12,11 a	4,39 ab	126,14 a
Testigo	3,10 b	7,78 b	3,18 b	40,00 b
DMS	0,74	4,22	1,59	42,85

Valores promedios seguidos de letras iguales en columnas no difieren estadísticamente.

En los resultados de Chevez (2020), no evidenció diferencias en el número de hojas para injertos de CNN-51 a los 60 días y el mayor promedio de esta variable la obtuvo con el biofertilizante Biol y el bioestimulante humus liquido en dosis de 150 mL, con 3,40 y 3,20 hojas por planta, respectivamente; mientras que, el promedio más bajo lo presentó el testigo con 1,40 y promedio general de 2,51 hojas por planta, en contraste con los resultados de este ensayo experimental, se evidenció diferencias estadísticas entre los tratamientos con bioinsumos respecto al testigo, siendo similar al testigo el tratamiento a base de humus líquido, en este experimento varió el número de hojas en los injertos en las plantas tratadas con los bioestimulantes entre 3,74 y 3,94 hojas, lo que indica que la respuesta de los genotipos fue muy similar.

En los hallazgos de Vergara (2017) con injertos de cacao CCN-51 e IMC-67, encontró diferencias aplicando tres dosis de metalosato de zinc con los mayores promedios en la longitud de las hojas de 16,13; 15,81 y 15,44 cm a los 60 días, respectivamente; seguido se observó diferencias estadísticas en las tres dosis de metalosato de magnesio, con menores promedios de 15,13; 14,81 y 14,31 cm, respectivamente y promedio general 14,92 cm, según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). En comparación con los resultados de esta investigación, los valores son muy cercanos a los obtenidos en este experimento a los 77 días

después de la injertación, variando entre 12,11 y 13,91 cm en longitud de hojas de los injertos que fueron tratados con bioinsumos y diferentes estadísticamente al testigo donde no se aplicó, que en promedio poseía 7,78 cm de longitud de hojas.

De modo análogo, Vergara (2017) a los 60 días encontró diferencias entre los tratamientos donde aplicó metalosato de zinc, con los mayores promedios de ancho en las hojas de 7,75; 7,44; 6,44 y 6,38 cm, diferente estadísticamente a tratamientos con metalosato de magnesio, que reportaron menores promedios 7,44; 7,38; 6,63 y 6,00 cm, y promedio general de 6,93 cm, según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Los resultados obtenidos en esta experiencia, reportan como promedio general 4,51 cm para el ancho de las hojas a los 77 días después de la injertación, valor inferior al reportado por el autor en fechas muy similares; sin embargo, los valores alcanzados por los tratamientos de bioinsumos que varían entre 4,39 y 5,19 cm de ancho de las hojas, próximos a los reportados por Vergara (2017) mientras que el testigo con 3,18 cm, representa un valor inferior y diferente a los tratamientos a base de los bioinsumos.

En referencia al área foliar, Casaverde (2014) en su ensayo con injertos de CCN-51, evidenció diferencias altamente significativas, con promedio de 891,09 cm^2 a los 63 días, donde aplicó Agrobiol, diferenciándose del testigo que presentó el promedio más bajo con 386,10 cm^2; sin embargo, al comparar los resultados de ese autor con los obtenidos en esta investigación a los 77 días después de la injertación, es notorio que los resultados obtenidos por Casaverde (2014) son superiores, pudiendo atribuirse al hecho de utilizar productos de origen comercial, que por lo general son enriquecidos con nutrimentos, que favorecen el crecimiento y desarrollo de las plantas, adicionalmente se aplicó en materiales genéticos diferentes.

Es importante destacar que las variables cuantificadas en esta investigación presentaron, en términos generales, valores promedios inferiores a los reportados por otros autores para la especie cacao; sin embargo, es relevante señalar que dichos estudios utilizaron sustancias bioestimulantes de origen sintético y trabajaron con materiales genéticos diferentes. Según MINAGRI (2016), los árboles criollos y acriollados, como los cultivares "Ocumare 61" *y* "Porcelana", son más débiles, de crecimiento lento, bajo rendimiento y más susceptibles a enfermedades y plagas en comparación con otras variedades. En contraste, la variedad CCN-51, descendiente de los cultivares trinitarios, es más precoz, de rápido crecimiento, y comienza su producción a los dos años, además de ser resistente a plagas y enfermedades. Estas diferencias podrían explicar las variaciones observadas en los resultados en comparación con los reportes de otros autores.

Por otro lado, los bioinsumos evaluados favorecieron el crecimiento de los injertos, siempre resultaron superiores al testigo, siendo el bioinsumo a base de extracto de hojas de moringa, quien promedió los mayores valores para todas las variables de crecimiento, referidas a longitud y diámetro del injerto; al número, longitud y ancho de las hojas y de área foliar, evaluadas 77 días después de la injertación. García (2015) señala que el extracto de moringa, contiene zeatina como sustancia activa, del grupo de las citoquininas, que, al ser aplicada de forma foliar, como complemento de fertilizantes, riego y otras prácticas agrícolas, ayuda en un efectivo y adecuado crecimiento en las plantas. En el mismo orden de ideas, Lira (2013) refiere que la zeatina siendo una citoquinina influye en el crecimiento y la división celular, interactuando con las auxinas en la inducción y promoción de la formación de órganos.

Agudelo *et al*. (2021) indica que para trasplantar la planta de cacao injertada debe tener 4 hojas verdaderas y el tiempo de desarrollo en el vivero no debe ser mayor de 7 meses, incluyendo el tiempo de obtención del patrón. Asimismo, las plantas injertadas (clones) listas para llevar a campo deben estar completamente adheridas al patrón. En ese sentido, para esta experiencia las plantas injertas de mejor calidad para trasplante fueron las obtenidas a partir del extracto de moringa, cumpliendo con esos estándares aproximadamente a los 6 meses y medio; en ese tiempo se incluye la fase de vivero del patrón y el lapso de la injertación, con 86,14 % de sobrevivencia.

CONCLUSIONES

Se evidenció que el uso de los bioinsumos, favoreció la sobrevivencia de plantas injertadas de los cultivares "Ocumare 61" y "Porcelana"; además, benefició el crecimiento vegetativo de los injertos cuando son comparados con el testigo sin aplicación, en ambos genotipos a nivel de vivero.

LITERATURA CITADA

Agudelo, G. Dubert, A. Cañar, Y. Serna, Bello M. Gáfaro, F. Hernández, J. Pabón, M. 2021. Manual técnico para la producción de semilla de cacao en vivero para los Santanderes y Boyacá. Editorial Agrosavia, Colección Transformación del Agro. 88 páginas. Obtenido de https://www.agrosavia.co/media/11522/ver_documento_36615.pdf.

Angulo, F. 2009. Evaluación de cuatro bioestimulantes comerciales en el desarrollo de plantas injertas de cacao (*Theobroma cacao* L.). Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Recursos Naturales. Obtenido de http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/31999.pdf.

Benavides, A. 2021. Bioestimulantes agrícolas: importancia y definición. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/354423869_Bioestimulantes_agricolas_importancia_y_definicion. 11.pdf.

Cárdenas, J. Álvarez, J. Barragán, E. Rivera, C. 2010. Efecto del ácido giberélico y la 6-bencilaminopurina sobre el desarrollo de yemas en injertos de cacao (*Theobroma cacao* L.). Revista Agronomía Colombiana, 28(1):19-27. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652010000100003

Casaverde, A. 2014. Influencia de cuatro bioestimulantes en el crecimiento de plantas injertadas de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN-51 en Satipo. Tesis de grado. Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de Ciencias Agrarias. Obtenido de https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1897/Casaverde%20Guillen.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2012. Catálogo de clones seleccionados por CATIE para siembras comerciales. Obtenido de https://www.worldcocoafoundation.org/wp-content/uploads/filesmf/phillipsmora2012clones4.64mb.pdf. 70.pdf.

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe), FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) y IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2015. Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2015-2016 /. Obtenido de https://repositorio.cepal.org/handle/11362/39023.

Chevez, M. 2020. Incidencia del riego con biofertilizantes y bioestimulantes en viveros de cacao (*Theobroma cacao* L.) injerto CCN51. Tesis de grado. Universidad Agraria del Ecuador. Obtenido de https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/CHEVEZ%20VILLANUEVA%20MARIA%20SOL_compressed.pdf.

CNC (Compañía Nacional de Chocolates S.A.). 2012. (Paquete Tecnológico. El cultivo de cacao. Obtenido de http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/12/paquete_tecnologico_cacao_cnch_enero_2012.pdf. 12. pdf.

Contreras, D. 2017. Evaluación de la producción y calidad de rosas variedad *Freedom* con aplicación de bioestimulantes a base de agua de coco. Tesis de grado. Universidad Técnica de Ambato. Obtenido de http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/6947.67.pdf.

Cuvi-Ramírez, M.B., Rodríguez-Guerra, Y., Carrera, K.M., Asanza, M., & Soria-Rea, S. (2013). Efecto de abonos orgánicos en el cultivo de Theobroma cacao L. en vivero del "Recinto el Capricho", Provincia de Napo, Ecuador. Revista Amazónica Ciencia y Tecnología, 2(1), 31-34.

Di Rienzo, J.; Casanoves, F.; Balzarini, M.; González, L.; Tablada, M.; Robledo, C. 2020. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Obtenido de http://www.infostat.com.ar.

Dostert, N. Roque, J. Cano, A. La Torre, M. Weigend, M. 2011. Hoja botánica: cacao (*Theobroma cacao* L.). Obtenido de http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/185.20.pdf.

García, L. 2015. Uso de Moringa como Biofertilizante Foliar en Pimiento variedad SWEET/CUBANELLE (*Capsicum annuum* L.). Tesis de grado. Universidad Técnica de Machala. Obtenido de http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/1144. 42. pdf.

García, M. Hernández, R. y Estévez, M. 2020. Extracto de *Aloe vera* L. en la adaptación de vitroplantas de plátano. Instituto de Información Científica y Tecnológica, 22(1):110-122.

Granados, E. 2015. Efecto de bioestimulantes foliares en el rendimiento del cultivo de berenjena; Ocós, San Marcos. Tesis de grado. Universidad Rafael Landívar. Obtenido de http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2015/06/17/Granados-Erick.pdf. 60. pdf.

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2017. Manual técnico del cultivo de cacao: prácticas latinoamericanas. Obtenido de http://www.iica.int 165.pdf.

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2015. Agricultura y variabilidad climática; Lo que debemos saber del clima. Obtenido de http://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/2601/BVE17038689e.pdf;jsessionid=600AC766AF9944CA14CBB4AAC3CBA720?sequence=1. 4.pdf.

ICCO (International Cocoa/Coffee Organization). 2009. Guidelines on Best Known Practices in the Cocoa Value Chain. Obtenido de http://cocoa.kit-ipp.org/cocoa/publication/guidelines-best-known-practices-cocoa-value-chains.

Jean, W. Yong, H. Liya, G. 2009. The Chemical Composition and Biological Properties of Coconut (*Coco nucifera*) Water. Molecules. Obtenido de https://scholar.google.co.ve/scholar?q=The+Chemical+Composition+and+Biological+Properties+of+Coconut+(Cocos+nucifera)+Water.+Molecules&hl=es

&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart. Última consulta: 12-08-2022.

Lira, R. 2013. Fisiología vegetal Obtenido de https://es.calameo.com/books/005884322c80d45848bca. 203.pdf.

Martínez, L. Maqueira, L. Nápoles, M. Núñez, M. 2017. Efecto de bioestimulantes en el rendimiento de dos cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) biofertilizados. Cultivos Tropicales, 38(2): 113-118.

MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). 2016. Estudio del cacao en el Perú y en el mundo; Situación Actual y Perspectivas en el Mercado Nacional e Internacional al 2015. MINAGRI-DGPA-DEEIA. Obtenido de http://www.minagri.gob.pe/portal/monitoreoagroclimatico/cacao.

Moreira, D. 2015. Sistematización de buenas prácticas de adaptación del sector agropecuario ante el cambio climático. Obtenido de http://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/3046/BVE17068958e.pdf;jsessionid=782195AE57FC7AE998883937CE9DF939?sequence=1. 44.pdf.

Motamayor, J. 2016. Mejoramiento genético del cacao herramienta para mejorar las condiciones de producción. Obtenido de https://repositorio.iica.int/bitstream/11324/6181/1/BVE17089191e.pdf. 116.pdf.

Navas, J. 2013. Bioestimulantes orgánicos en el comportamiento fenológico de clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en vivero. Tesis de grado. Universidad Técnica Estatal De Quevedo. https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/689cf3cc-c658-48e6-90eb-7495807b0831/content.

Pérez, C. 2012. *Moringa oleífera* Lam., espécie forestal de usos múltiples. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/320490188_Interes_forestal_de_la_Moringa_oleifera_y_posibles_zonas_de_implantacion_en_Espana. 14.pdf.

Pérez, L. Huaraca F., J. N. 2019. Efecto del humus de lombriz, nutriabonaza y compost en la inmovilidad del cadmio en suelos con plantación del cacao de la Cooperativa Agroindustrial Cacao Alto Huallaga, Huánuco. Tesis de grado. Universidad Peruana Unión. Obtenido de https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1899.

Ramírez, G. Zambrano, B. 2021. Comportamiento agronómico del cacao CCN51 (*Theobroma cacao* L.) usando bioestimulante orgánico a base de extractos de algas marinas. Tesis de grado. Universidad Técnica de Cotopaxi. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Obtenido de https://dspace.utc.edu.ec/bitstream/27000/7303/1/UTC-PIM-000314.pdf.

Ramis, C., Bello, O., Astudillo, H., Orozco, G. 2020. Colección de cacao Hacienda San José, estado Sucre-Venezuela. Obtenido de https://drive.google.com/file/d/18KBEDtgkLMDY8Zw1lGjmaj7hxzNa6v/viw?pli=1 43.pdf.

Rodríguez, E. 2011. Agua de coco: Líquido de la vida. Obtenido de http://caxigalinas.blogspot.com/2011/09/agua-de-coco-el-líquido-de-la-vida.html. 5.pdf. Última consulta: 13-08-2022.

Romero, J. 2019. Evaluación del efecto de tres bioestimulantes para la obtención de plantones de cacao (*Theobroma cacao* L.). Tesis de grado. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Facultad de Agronomía. Obtenido de https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/ea7c91e8-99a4-43d1-a0aa-60ae3d7b8453/content.

Vergara, J. 2017. Método exploratorio aplicando metalosato de magnesio y zinc (Quelatos), en dos tipos de injertación en cacao (*Theobroma cacao* L.) en patrones trinitarios y forasteros en la etapa de vivero. Tesis de grado. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Los Ríos: UTEQ. Obtenido de https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/2030

Yasmeen, A. Ahmed, S. Ahmad, R. Whaid, A. 2012. Rendimiento de trigo sembrado tarde en respuesta a la aplicación foliar de extracto de hojas de *Moringa oleífera* Lam. Serie Documental. [Artículo en línea]. Chilean Journal of Agricultural Research 72(1): 92-97.

Zúñiga, C. 2013. Efecto de cuatro bioestimulantes en el comportamiento agronómico de plantas injertadas de cacao *(Theobroma cacao* L.*)*. Cultivar CCN51. Tesis de grado. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Obtenido de https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/b3f9dcde-3ac4-41f9-9649-dcd6179e3e1b/content.

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE CAMOTE VARIEDAD INIAP-TOQUECITA FRENTE A DIFERENTES TIPOS DE FERTILIZACIÓN QUÍMICA

AGRONOMIC PERFORMANCE OF SWEET POTATO VARIETY INIAP-TOQUECITA UNDER DIFFERENT TYPES OF CHEMICAL FERTILIZATION

Anferny Argote Véliz[1], Fernanda Pilay Magay[1], Joffre Añazco Chávez[2] Favio Ruilova, Narváez[2], Jorge Tumbaco Vera[2], Chang Hwan Park[3], Xavier Ortiz Dueñas[4]

[1]Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta, Manabí, Ecuador
[2]Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Portoviejo, Portoviejo, Manabí, Ecuador,
[3]KOPIA Ecuador Center, Quito, Pichincha, Ecuador
[4]Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Manabí, Ecuador

Email: joffre.anazco@iniap.gob.ec

Información del artículo

Tipo de artículo: Artículo original

Recibido: 10/10/2024

Aceptado: 27/12/2024

Licencia: CC BY-NC-SA 4.0

Revista ESPAMCIENCIA 15(2):51-57

DOI: https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia. v15i2.507

Resumen

El camote (*Ipomoea batatas* L.) es un cultivo de mucha importancia por su valor nutricional y agrícola. Sin embargo, existe una carencia de información específica sobre la fertilización para optimizar su producción. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el comportamiento agronómico de la variedad introducida de camote INIAP Toquecita bajo diferentes tipos de fertilización química. La investigación se realizó en La Pipona, cantón Rocafuerte, Manabí, empleando un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con tres repeticiones y ocho tratamientos (siete formulaciones químicas y un testigo). Se evaluaron variables como porcentaje de prendimiento, índice de clorofila, número de guías por planta, rendimiento foliar, número de raíces comerciales y rendimiento. El análisis estadístico se efectuó mediante ANOVA utilizando el software InfoStat 2020, complementado con la prueba de Tukey ($p \leq 0{,}05$) para la comparación de medias. Los resultados demostraron un efecto significativo de la fertilización química en el desarrollo y productividad del camote. El tratamiento 2 (N 80 Kg/ha; P 20 Kg/ha) tuvo mayor rendimiento con 18,33 $t.ha^{-1}$ de raíces comerciales, superando al testigo y demás tratamientos. Esto sugiere que la formulación del tratamiento 2 da buenos resultados con la variedad de camote INIAP Toquecita. Un programa de fertilización química adecuado, puede incrementar significativamente la productividad del camote, ofreciendo una estrategia efectiva para mejorar la eficiencia en el cultivo.

Palabras clave: Comportamiento agronómico, fertilización en camote, INIAP-Toquecita.

Abstract

Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) is a crop of great importance due to its nutritional and agricultural value. However, there is a lack of specific information on fertilization to optimize its production. This study aimed to evaluate the agronomic performance of the introduced sweet potato variety INIAP-Toquecita under different types of chemical fertilization. The research was conducted in La Pipona, Rocafuerte canton, Manabí, using a Completely Randomized Block Design (CRBD) with three replications and eight treatments (seven chemical formulations and one control). Variables such as survival rate, chlorophyll index, number of vines per plant, foliar yield, number of commercial roots, and total yield were evaluated. Statistical analysis was performed using ANOVA in the InfoStat 2020 software, complemented by Tukey's test ($p \leq 0.05$) for mean comparisons. The results showed a significant effect of chemical fertilization on the development and productivity of sweet potato. Treatment 2 (N 80 kg/ha; P 20 kg/ha) achieved the highest yield with 18.33 $t.ha^{-1}$ of commercial roots, surpassing the control and other treatments. This suggests that the formulation in Treatment 2 produces favorable results for the INIAP-Toquecita sweet potato variety. An appropriate chemical fertilization program can significantly enhance sweet potato productivity, providing an effective strategy to improve cultivation efficiency.

Keywords: Agronomic performance, sweet potato fertilization, INIAP-Toquecita.

INTRODUCCIÓN

El camote (*Ipomoea batatas* L.) es un cultivo de gran relevancia agrícola y alimentaria debido a su valor nutricional, alto contenido energético y sus múltiples usos en la agroindustria (Vidal *et al.,* 2018). A pesar de su gran adaptabilidad a diversas condiciones edafoclimáticas, existe un desconocimiento sobre el comportamiento agronómico del cultivo en términos de producción en relación con la fertilización (Dumbuya *et al.,* 2017), lo que impide optimizar su rendimiento y reflejar un incremento significativo en esta variable. Según Hindersah *et al*. (2021) y Cecilio *et al.* (2016), sostienen que el uso adecuado de fertilización química puede aumentar significativamente la producción y mejorar la calidad del camote. No obstante, la aplicación incorrecta de fertilizantes no solo limita el rendimiento, sino que también tiene efectos negativos en el medio ambiente y en la calidad del producto (Darko *et al.,* 2020).

La falta de estudios específicos sobre las respuestas del camote a distintos tipos de fertilización complica la implementación de estrategias agronómicas efectivas (Mukhongo *et al.,* 2017). Esto subraya la necesidad de investigar los efectos de diferentes formulaciones de fertilizantes para identificar aquellos que maximicen el rendimiento del cultivo (Duan *et al.,* 2019). Existe información antigua de Padilla (1979), en donde se indica que el requerimiento nutricional del camote varía dependiendo de la interpretación de análisis de suelo, que va en N-P-K, cuando es bajo 80-80-120, cuando es medio 60-40-60 y cuando es alto 40-20-20; esto debe realizarse al momento de la siembra.

El cultivo de camote en el cantón Rocafuerte de la provincia de Manabí, Ecuador, presenta un potencial económico para los agricultores, frente a otros cultivos tradicionales (Monteros *et al.,* 2021), por lo que es importante la generación de información y tecnología que permita optimizar el cultivo incrementando su rentabilidad.

Es necesario identificar niveles de fertilización que optimicen el rendimiento sin comprometer la sostenibilidad. A nivel local, la información actualizada sobre las dosis y formulaciones adecuadas de fertilizantes químicos es limitada, lo que impide a los agricultores adoptar prácticas que mejoren su competitividad.

El objetivo de la presente investigación es evaluar la respuesta agronómica del camote (*Ipomoea batatas* L.) a la incorporación de macroelementos edáficos durante su ciclo productivo, en La Pipona, cantón Rocafuerte, Manabí; con lo que se busca definir el efecto de los macroelementos en el comportamiento agronómico del camote y determinar la influencia de los macroelementos en la producción de las raíces tuberosas del camote.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del Lote Experimental

La presente investigación se desarrolló en el sitio La Pipona del cantón Rocafuerte, en la época seca (julio-diciembre) del 2023 de la provincia de Manabí. La localidad está ubicada a 41 m s. n. m., con una latitud de 00º 52´ 09,6´´ S y una longitud de 80^0 26´ 47,2´´ W.

Características edafo-climáticas

Las características del suelo y clima de la localidad en donde se realizó el estudio que se detalla a continuación:

Cuadro 1. Características edafo-climáticas del sitio La Pipona del cantón Rocafuerte

Característica	Detalle
Categoría climática	**Tropical sub desértico
Rango de temperatura	*23-26 ºC
Precipitación media anual	*163,2 mm
Humedad relativa	*78-80 %
Topografía	Plana
Heliofanía	*1296,2 Horas Luz
Clase textural	***Franco arcilloso

Fuentes: *INHAMI, 2020; **GAD Portoviejo, 2020; ***EETP, 2021

Factores en estudio

Los factores de estudio en esta investigación fueron: el camote de la variedad INIAP Toquecita y las fuentes de fertilizante químico, que fueron: nitrógeno (urea), fósforo (superfosfato triple) y potasio (muriato de potasio), la combinación de estos factores, dieron como resultado siete tratamientos más un testigo con tres repeticiones.

Unidad experimental

Se obtuvo un total de 24 parcelas, de tres surcos, cada un separado a 0,80 m con un largo de 5,1 m, se sembraron las guías de camote con una separación de 0,30 m, dando un total de 17 plantas por surco. El área total del experimento fue de 729 m^2, cada parcela tenía un área de 15,3 m^2, con un área útil por parcela de 3 m^2 con 10 plantas por área de parcela útil.

Tratamientos

Los tratamientos utilizados, un total de ocho, siete basados en combinaciones de las fuentes utilizadas más un testigo al cual no se realizó ninguna aplicación de fertilizante.

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos utilizados en el ensayo

Trat.	Descripción
T1	INIAP-Toquecita + Alternativa 1 (N 80 Kg/ha; P 20 Kg/ha; K 20 Kg/ha)
T2	INIAP-Toquecita + Alternativa 2 (N 80 Kg/ha; P 20 Kg/ha)
T3	INIAP-Toquecita + Alternativa 3 (N 80 Kg/ha; K 20 Kg/ha)
T4	INIAP-Toquecita + Alternativa 4 (P 20 Kg/ha; K 20 Kg/ha)
T5	INIAP-Toquecita + Alternativa 5 (N 80 Kg/ha)
T6	INIAP-Toquecita +Alternativa 6 (P 20 Kg/ha)
T7	INIAP-Toquecita +Alternativa 7 (K 20 Kg/ha)
T8	INIAP-Toquecita +Alternativa 8 sin fertilizar

La presente investigación se realizó en un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), con tres repeticiones. Antes de someter los datos al análisis de varianza, se comprobó los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilks y de homogeneidad de varianzas con la prueba de Bartlett. Para probar el efecto de los tratamientos en estudio, se realizó las comparaciones de medias de los tratamientos a través de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Variables evaluadas

Porcentaje de prendimiento: a los 20 días después de la siembra se contaron el número de guías que prendieron y el resultado se expresó en porcentaje.

Índice de clorofila: se tomó de la hoja ubicada en la parte media de la guía principal a partir de los 30 días después de la siembra hasta el día 90, con frecuencia de cada 15 días, con la ayuda del medidor de grados SPAD (Novoa & Villagrán, 2002).

Número de guías por planta: a los 120 días después de la siembra, se contaron el número de guías por planta (consideradas aquellas que tengan más de 0,30 m de longitud) y se tomó el peso de 100 guías, para la variable del rendimiento foliar.

Longitud de guías por planta: a los 120 días de la siembra en la cosecha, se midió las guías madres a partir del cuello de la planta hasta la punta distal y se expresó en cm.

Rendimiento foliar: se tomó el peso de la parte aérea a los 120 días de la siembra, en la cosecha, cortando en el cuello de las plantas y se expresó en $t.ha^{-1}$, de la parcela útil.

Número de raíces comerciales: se contó el número total de raíces comerciales cosechadas en la parcela útil, excluyendo aquellas que presentaron daños de insectos o enfermedades y aquellas menores a 100 gramos, los resultados se expresaron en unidades por hectárea.

Rendimiento de raíces comerciales: Se pesó el total de las raíces comerciales cosechadas en cada parcela útil y se expresó en $t.ha^{-1}$.

Manejo específico del experimento: para el establecimiento del ensayo, se escogió un lote de terreno con facilidad de acceso, plano y con riego. Durante el desarrollo del experimento se realizaron las siguientes labores:

Preparación del terreno: se realizó de forma mecánica, mediante un pase arado profundo y dos pases de rastra, posteriormente se procedió a trazar los surcos a 0,80 m. Concluida esta labor y antes de la siembra se procedió a colocar la cinta de riego a regar, durante dos días dos horas diarias.

Siembra: se utilizaron guías de 0,3 m de longitud con al menos ocho nudos. Sobre los camellones se dispuso el material de siembra considerando distancias de siembra de 0,80 m entre hilera x 0,30 m entre planta.

Riego: se utilizó riego por goteo, cada gotero tiene una capacidad de 1,6 litros por hora, se cedió dos horas de riego diario hasta los 75 días.

Fertilización: se aplicaron los fertilizantes de acuerdo con los tratamientos. La mezcla de los fertilizantes que componen los tratamientos se aplicó al inicio de la siembra por única vez, cada dosis se colocó a un costado de la planta. En el testigo no se aplicó fertilizante, todo esto basado en el análisis químico del suelo.

Manejo de plagas y enfermedades: no se presentaron complicaciones severas de plagas y enfermedades en el ensayo, por lo que no se realizó ningún tipo de control.

Cosecha: se realizó manualmente, una vez que el cultivo completó su ciclo (120 días) y cuando las raíces alcanzaron su formación completa, el resultado se expresó en Kg/ha.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Porcentaje de prendimiento

En el cuadro 3 se presentan los resultados del porcentaje de prendimiento alcanzado, evidenciando un estado inicial del cultivo excelente, con tasas que varían entre el 92% y el 100% de guías prendidas en los diferentes tratamientos investigados, siendo el tratamiento 5 (N 80 Kg/ha) y el tratamiento 8 (sin fertilizar) quienes obtuvieron los más altos porcentajes (100%). Por otro lado, el tratamiento 1 (N 80 Kg/ha; P 20 Kg/ha; K 20 Kg/ha.) fue el que obtuvo el menor valor con el 92% de guías prendidas, se recalca que estadísticamente no hay diferencia significativa. Estos resultados se contrastan con los obtenidos por López y Soledispa (2023), quienes obtuvieron porcentajes de 95 y 100% de prendimiento de guías en la variedad INIAP-Toquecita. Estos valores también son similares a los encontrados por Šlosár *et al.* (2016), quienes también encontraron que en el camote y la variedad Toquecita, los valores de prendimiento superaron el 95% de las guías.

Cuadro 3. Porcentaje de prendimiento.

Tratamiento	Porcentaje
T1	92
T2	97
T3	95
T4	99
T5	100
T6	97
T7	95
T8	100

Tukey ($p \leq 0,05$): ns

Índice de clorofila

En el cuadro 4 se muestran los resultados obtenidos del índice de clorofila, a través del análisis de varianza y la

comprobación de medias mediante la prueba de tukey al 5%. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en ninguno de los periodos de tiempo, esto implica que el contenido de nitrógeno en el cultivo de camote no tiene mucha variación frente a los efectos de la fertilización química.

Cuadro 4. Resultados del índice de clorofila en los diferentes tratamientos

Tratamiento	Días después de la siembra				
	30	45	60	75	90
T1	41,07	43,44	42,64	42,84	41,35
T2	43,74	46,22	41,82	41,91	39,29
T3	45,1	43,18	40,02	41,59	44,18
T4	43,56	41,48	39,48	40,90	44,18
T5	44,34	41,91	41,14	42,36	42,21
T6	43	41,2	40,66	42,34	41,10
T7	42,17	41,4	43,88	42,22	39,58
T8	43,62	40,83	42,08	39,58	46,35

Tukey ($p \leq 0,05$): ns

La falta de diferencias significativas puede interpretarse como una indicación de que la fertilización química aplicada en las diferentes dosis o combinaciones no afectó de manera notable el metabolismo del nitrógeno en las plantas de camote durante los periodos analizados.

Número de guías por planta

Los resultados muestran que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, pero sí hay una diferencia numérica donde el tratamiento 5 (N 80 Kg/ha) es superior a los demás tratamientos con una media de 31,57 guías, seguido del T8 (sin fertilizar) con una media de 30,80 guías. Al final se encuentra el T3 (N 80 Kg/ha; K 20 Kg/ha) con apenas 23,87 guías.

Los resultados son superiores a los obtenidos por López y Soledispa (2023) quienes obtuvieron medias de 15,40 guías por planta. Del mismo modo, los resultados de esta investigación superan a los obtenidos por Monostori & Szarvas (2015), y Alarcón *et al*. (2016) quienes mostraron medias de hasta 25 guías por planta, siendo el menor de apenas 15 guías.

Longitud de guías por planta

En la longitud de guías por planta, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Sin embargo, el tratamiento 5 (N 80 Kg/ha) tiene una longitud media de 1,85 metros, que es la más alta entre los tratamientos analizados. Le sigue el tratamiento 8 (sin fertilizar) con una longitud media de 1,82 metros, y en último lugar está el tratamiento 2 N 80 Kg/ha; P 20 Kg/ha) con una longitud media de solo 1,64 metros. Es importante destacar que, aunque las diferencias numéricas son estadísticamente no significativas, aún así, podrían ser relevantes para el agricultor. Además, estos valores están dentro del rango establecido por Vera *et al.* (2023) y por Cobeña *et al.* (2016), lo que sugiere que las longitudes observadas están dentro de lo esperado o aceptable para este tipo de análisis o cultivo.

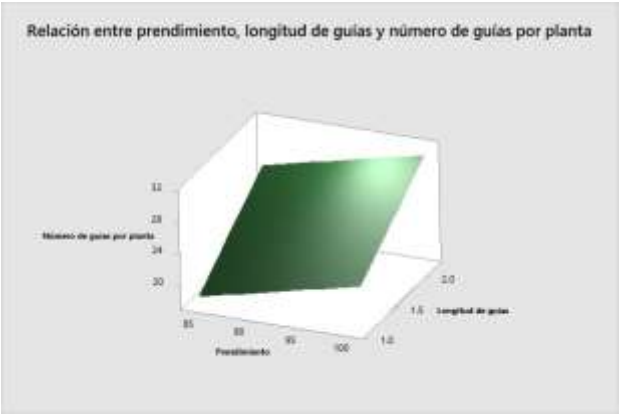


Gráfico 1. Relación entre prendimiento, longitud de guías y número de guías por planta.

El gráfico de superficie muestra la interacción entre el prendimiento (85-100%), la longitud de guías (1,0-2,0 m) y el número de guías por planta (20-32) en el cultivo de camote. Se observa que el número de guías aumenta con mayor prendimiento y longitud de guías, siendo este efecto más pronunciado cuando ambos factores alcanzan sus valores máximos.

Rendimiento foliar

Respecto al rendimiento foliar, de acuerdo al análisis estadístico, los resultados expuestos en el gráfico 2 muestran que si existen diferencias estadísticamente significativas, donde el mayor es el tratamiento 7 (K 20 Kg/ha) con 42,08 $t.ha^{-1}$, seguido del tratamiento 2 (N 80 Kg/ha; P 20 Kg/ha) con 37,92 $t.ha^{-1}$ y en último lugar el tratamiento 3 (N 80 Kg/ha; K 20 Kg/ha) con 22,92 $t.ha^{-1}$.

Los resultados son superiores a los establecidos por Cobeña *et al.* (2017) y por los obtenidos por Markos & Loha (2016) con 37,99 $t.ha^{-1}$, sin embargo, difieren con los obtenidos por Cobeña *et al.* (2023) donde se obtuvieron medias de rendimiento foliar de hasta 53,7 $t.ha^{-1}$. Esto se puede atribuir a que existieron diferentes condiciones de los cultivos y variaciones en la aplicación de los tratamientos ya que en ese caso el ensayo se realizó bajo un acolchado del suelo, lo que pudo incidir en los resultados.

Es posible que como existió una adecuada disponibilidad de agua, favorecieran la respuesta al potasio, permitiendo que las plantas alcanzaran un rendimiento foliar mayor que con otros tratamientos, incluso aquellos que contenían nitrógeno en su formulación.

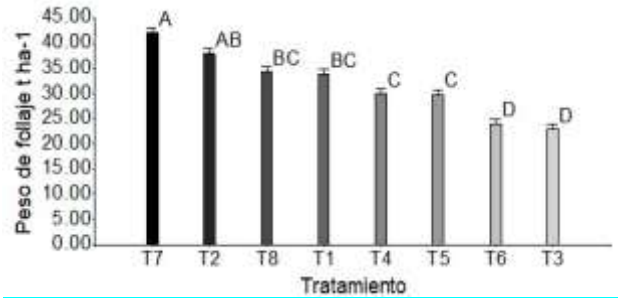


Gráfico 2. Comparación de los tratamientos en el rendimiento foliar.

Número de raíces comerciales

En el gráfico 3 se muestra cómo el número de raíces comerciales está estrechamente relacionado con la media de los rendimientos, en los resultados del análisis estadístico en la comparación de medias del número de raíces comerciales, sí se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas, siendo el Tratamiento 2 (N 80 Kg/ha; P 20 Kg/ha) el que mostró la media más alta con 90 278,50 raíces comerciales por hectárea, seguido del Tratamiento 5 (N 80 Kg/ha) con 76389,50 raíces por hectárea y en el último lugar, se encuentra el Tratamiento 1 (N 80 Kg/ha; P 20 Kg/ha; K 20 Kg/ha. con tan solo 43 055,90 raíces comerciales por hectárea.

Estos resultados sugieren que el tratamiento 2 fue el más efectivo en términos de producción de raíces comerciales, seguido por el Tratamiento 5, mientras que el Tratamiento 1 tuvo el rendimiento más bajo en este aspecto. Aún así, se encuentra en el rango de los resultados obtenidos por Cobeña *et al.* (2023), quienes obtuvieron 89 745 raíces comerciales en la variedad Toquecita. Y por debajo de los resultados de López y Soledispa (2023), con un máximo de 123 333,3 raíces comerciales.

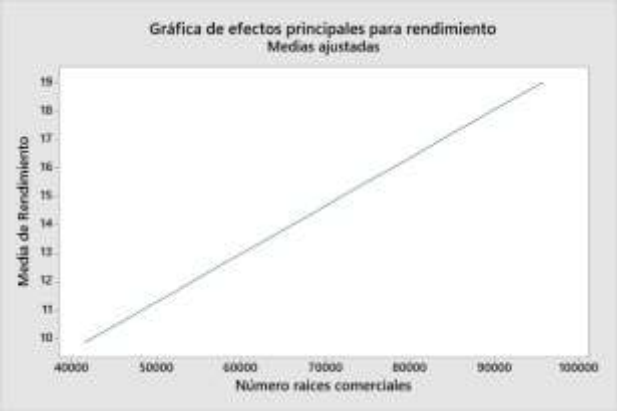


Gráfico 3. Efecto que ejerce el número de raíces comerciales en el rendimiento por hectárea del cultivo de camote de la variedad INIAP-Toquecita.

Rendimiento de raíces comerciales

En el gráfico 4 se exponen los resultados del análisis estadístico correspondiente al rendimiento de raíces comerciales, donde se observa que existen diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos. El que más destaca es el Tratamiento 2 (N 80 Kg/ha; P 20 Kg/ha) con una media de 18,33 $t.ha^{-1}$, seguido del Tratamiento 5 (N 80 Kg/ha) con 16,25 $t.ha^{-1}$ y en último lugar, se encuentra el Tratamiento 4 (P 20 Kg/ha; K 20 Kg/ha) con 9,59 $t.ha^{-1}$.

Los resultados difieren con los obtenidos por Cobeña *et al.* (2016), quienes obtuvieron una producción en la variedad Toquecita de 25,4 $t.ha^{-1}$ en el sector San Eloy. Esto se puede atribuir a factores como la densidad poblacional del cultivo, ya que en el estudio realizado en San Eloy se utilizó un ajuste poblacional de 66 666 plantas. Sin embargo, en el presente estudio se utilizó un ajuste de 41 666 plantas. Otro factor que pudo inferir en los resultados es el tipo de suelo, según Liu & Chen (2024) y Figueroa *et al.* (2011), el camote prefiere suelos francos, franco arcilloso o limoso, no obstante, este trabajo se realizó bajo un suelo de textura franco arcilloso.

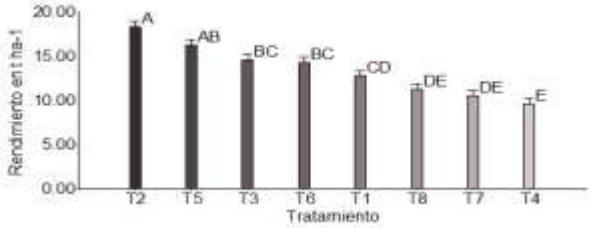


Gráfico 4. Comparación de los tratamientos en el rendimiento de raíces comerciales.

La relación entre las variables analizadas en el presente estudio, mostraron similitudes, como se observa en el gráfico 5, el prendimiento muestra relación con longitud de guías y con el número de guías por planta; evidentemente el rendimiento de las raíces comerciales va a estar estrechamente relacionada con el número de estas.

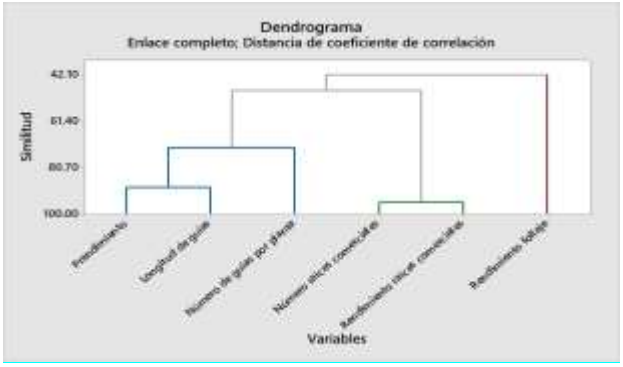


Gráfico 5. Dendrograma de las variables evaluadas en el comportamiento agronómico del cultivo de camote INIAP Toquecita, frente a diferentes tipos de fertilización.

CONCLUSIONES

Los macroelementos ejercen una influencia significativa en la producción de raíces tuberosas de camote. La variación en los rendimientos observada entre los diferentes tratamientos resalta la importancia de una adecuada nutrición de la planta para maximizar la producción de raíces comerciales.

Aunque estos resultados son alentadores, es necesario señalar que los rendimientos obtenidos en el presente estudio son inferiores a los reportados en otras investigaciones. Este hecho resalta la necesidad de realizar una revisión detallada de las prácticas de manejo y fertilización aplicadas en los tratamientos, para identificar posibles áreas de mejora.

LITERATURA CITADA

Alarcón, N. E. M., Pinargote, L. A. C., Menendez, J. D. P., Betancourt, C. E. A., & Muentes, M. E. A. 2016. Alternativas de siembra del camote (Ipomoea batatas L.) para el canton Jaramiijo, provincia de Manabi. Revista Espamciencia, 7(1): 7-14.

Cecílio Filho, A. B., Nascimento, S., Silva, A. S., & Vargas, P. F. 2016. Agronomic performance of sweet potato with different potassium fertilization rates. Horticultura Brasileira, 34: 588-592.

Cobeña, G; Cárdenas, F; Zambrano, E; Cañarte, E; Mendoza, A; Limongi, R. 2019. Variedad de camote Toquecita Nueva alternativa para la producción familiar campesina con enfoque y seguridad alimentaria. Portoviejo, s.e.

Cobeña, G; Sánchez, J; Moreira, G; Ortiz, X. 2023. Evaluación del rendimiento de dos variedades de camote, bajo tres densidades de siembra con acolchado plástico Autores: (en línea). Consultado 11 mayo 2024. Disponible en https://www.espam.edu.ec/recursos/sitio/informativo/archivos/ponencias/sigloxxi/XII/ CISPA/S1/CISPA-S1-018.pdf.

Cobeña, G; Zambrano, J; Cárdenas, F; Zambrano, E; Ramírez, C. 2016. Incidencia de poblaciones de siembra y longitudes de guía en rendimiento de variedades de camote. Revista ESPAMCIENCIA 8(1):33-37.

Cobeña Ruíz, G., Ampuero Bravo, J. G., Cárdenas Guillén, F. M., Alvarez, H., & Ramírez Aguirre, C. 2017. Efecto de la poda y longitud de guías sobre el rendimiento de tres variedades de camote. Revista ESPAMCIENCIA, 8(2):35-40

Darko, C., Yeboah, S., Amoah, A., Opoku, A., & Berchie, J. N. 2020. Productivity of sweet potato (Ipomoea batatas (L) Lam) as influenced by fertilizer application in different agro-ecologies in Ghana. Scientific African, 10, e00560.

Duan, W., Zhang, H., Xie, B., Wang, B., & Zhang, L. 2019. Impacts of nitrogen fertilization rate on the root yield, starch yield and starch physicochemical properties of the sweet potato cultivar Jishu 25. PloS one, 14(8): e0221351.

Dumbuya, G., Sarkodie-Addo, J., Daramy, M. A., & Jalloh, M. 2017. Effect of vine cutting length and potassium fertilizer rates on sweet potato growth and yield components. International Journal of Agriculture and Forestry, 7(4): 88-94.

Figueroa, C. M. M., Ruíz, G. A. C., Plúa, H. Á., Luzardo, L. E. C., & Guillén, F. M. C. 2011. Caracterización agronómica de germoplasma de camote (Ipomoea batatas L.) en Manabí. Revista ESPAMCIENCIA, 2(2): 37-43.

Hindersah, R., Karuniawan, A., & Apriliana, A. 2021. Reducing chemical fertilizer in sweet potato cultivation by using mixed biofertilizer. Iraqi Journal of Agricultural Sciences, 52(4).

López, J; Soledispa, Z. 2023. "Respuesta De Dos Variedades De Camote (*Ipomoea batatas* L.) A La Aplicación De Cinco Bioinsumos Edáficos". Manta, s.e.

Liu, Y., & Chen, Y. 2024. Subsoiling Treatment on Soil Permeability and Its Impact on the Growth of Sweet Potato (Ipomoea atatas). International Journal of Horticulture, 14.

Markos, D., & Loha, G. 2016. Sweet potato agronomy research in Ethiopia: Summary of past findings and future research directions. Agriculture and Food Sciences Research, 3(1):1-11.

Monostori, T., & Szarvas, A. D. R. I. E. N. N. 2015. A review on sweet potato with special focus on hungarian production: utilization, biology and transplant production. Review on Agriculture and Rural Development, 4(1–2): 68-81.

Monteros-Altamirano, A., Paredes, D., Buitrón-Bustamante, J., Tapia, C., & Peña, G. 2021. Genetic diversity of sweet potatoes [Ipomoea batatas (L) Lam.] in Ecuador. Genetic Resources and Crop Evolution, 68:307-320.

Mukhongo, R. W., Tumuhairwe, J. B., Ebanyat, P., AbdelGadir, A. H., Thuita, M., & Masso, C. 2017. Combined application of biofertilizers and inorganic nutrients improves sweet potato yields. Frontiers in plant science, 8: 219.

Novoa S, R., & Villagrán, N. 2002. Evaluación de un instrumento medidor de clorofila en la determinación de niveles de nitrógeno foliar en maíz. Agricultura técnica, 62(1): 166-171.

Padilla, W. 1979. Guía de recomendaciones de fertilización para los principales cultivos del Ecuador. INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS, 1. http://181.112.143.123/bitstream/41000/2827/1/iniapsc322est.pdf

Šlosár, M., Mezeyová, I., Hegedűsová, A., & Golian, M. 2016. Sweet potato (ipomoea batatas l.) growing in conditions of southern slovak republic. Potravinarstvo, 10(1).

Vera, J; Vélez, J; Roca, J; Mantuano, M. 2023. Variación en las características de composición química de tres cultivares de camote (Ipomoea batatas, L.) (en línea). Maestro y Sociedad 20(2). Consultado 11 mayo 2024. Disponible en https://maestroysociedad.uo.edu.cu/index.php/MyS/article/view/6064/6136.

Vidal, A. R., Zaucedo-Zuñiga, A. L., & de Lorena Ramos-García, M. 2018. Propiedades nutrimentales del camote (*Ipomoea batatas* L.) y sus beneficios en la salud humana. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 19(2).

REVISTA ESPAMCIENCIA
para el agro

ÁRBOL DE USO MÚLTIPLE EN SISTEMAS AGROFORESTALES COMO DESARROLLO EN EL SUR DE CAMPECHE, MÉXICO

MULTIPURPOSE TREE IN AGROFORESTRY SYSTEMS AS A DEVELOPMENT STRATEGY IN SOUTHERN CAMPECHE, MEXICO

Mayra Iliana Rivas Martínez y Ranulfo Cruz Aguilar

Organismo Coordinador de las Universidades para el Bienestar Benito Juárez García. Sede Escárcega, Campeche

Email: rivasmayra17@gmail.com

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo original

Recibido:
28/02/2024

Aceptado:
27/12/2024

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista ESPAMCIENCIA
15(2):58-70

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v15i2.446

Resumen

La ganadería y la agricultura en el sur de Campeche son actividades predominantes que le dan identidad como región. Desde su establecimiento han ejercido presión sobre la cobertura forestal, debido a la deforestación para su establecimiento. El objetivo de esta investigación fue: realizar una revisión bibliográfica para conocer la importancia de la agroforestería y el enfoque de árbol de uso múltiple como alternativa para mitigar la problemática ambiental provocada por las actividades agropecuarias. El enfoque metodológico; pretende describir la importancia de la agroforestería y el árbol de uso múltiple como un factor de desarrollo para las comunidades del sur de Campeche, con las siguientes interrogantes: ¿Por qué la agroforestería es una opción para las zonas donde la vegetación ha sido deforestada? ¿Por qué el árbol de uso múltiple es el elemento central de la agroforestería que mitiga los impactos a la vegetación por el cambio de uso de suelo? ¿Cuál es la relación entre la agroforestería y el desarrollo rural? La agroforestería es el conducto para recuperar la cobertura forestal pérdida por el cambio de uso de suelo, esto a través del elemento central que es el árbol de uso múltiple. En la cuestión económica al incrementar los elementos del sistema agroforestal los productos se diversifican generando una mejor rentabilidad. El árbol de uso múltiple provee al campesino una reducción de los gastos de producción. Se concluye que la agroforestería es una opción productiva viable sin embargo se tiene que abordar desde un enfoque multidisciplinario, ya que es un campo de investigación cualitativa y cuantitativa.

Palabras clave: agroforestería, sistemas agroforestales, alternativas al desarrollo.

Abstract

Livestock farming and agriculture are predominant activities that define the identity of southern Campeche as a region. Since their establishment, these activities have exerted pressure on forest cover due to deforestation. The objective of this research was to conduct a literature review to understand the importance of agroforestry and the role of multipurpose trees as an alternative to mitigate the environmental issues caused by agricultural activities. The methodological approach aims to describe the significance of agroforestry and multipurpose trees as a development factor for communities in southern Campeche, addressing the following questions: Why is agroforestry a viable option for areas where vegetation has been deforested? Why is the multipurpose tree the central element of agroforestry that mitigates the impacts of land-use change on vegetation? What is the relationship between agroforestry and rural development? Agroforestry serves as a means to restore lost forest cover due to land-use changes, with the multipurpose tree as its core element. From an economic perspective, increasing the elements within an agroforestry system diversifies production, leading to improved profitability. Multipurpose trees help farmers reduce production costs. It is concluded that agroforestry is a viable productive alternative; however, it must be addressed from a multidisciplinary perspective, as it encompasses both qualitative and quantitative research fields.

Keywords: agroforestry, agroforestry systems, development alternatives.

INTRODUCCIÓN

El estado Campeche posee una vegetación denominada selva húmeda, según la Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO, 2021; Bravo y López, 1999, Acopa y Boege, 1999) se distribuye casi exclusivamente en la vertiente del Atlántico, desde el sur de San Luis Potosí a lo largo de Veracruz hasta Tabasco y en el sur de la Península de Yucatán, y ha estado amenazada por el cambio de uso de suelo hacia la agricultura y ganadería (CONABIO, 2021; Miranda y Hernández, 1963). Esta situación también se ve reflejada en el Sur del estado de Campeche (Esta región comprende los municipios de Escárcega, Carmen, Xpujil, Candelaria y Carmen), lo que no solo atenta contra la biodiversidad, el equilibrio ecológico y el desarrollo de las comunidades.

En el estado de Campeche del 2001 al 2018 se han deforestado alrededor de 410 418 ha, equivalentes a 22 805 ha al año, de las cuales el 73% se debe a cambio de selvas a praderas, el 27% a uso agrícola, 0,5% a asentamientos urbanos y 0,2 a humedales; además esta deforestación se concentra en los municipios de Carmen, Candelaria y Champotón (CONAFOR, 2020). En el municipio de Xpujil se observa incidencia media, debido al decreto de la Reserva de la Biosfera de Calakmul (SEMARNAT, 2018; Escamilla *et al*., 2000, Reyna, 2002; Reyna y Tanner, 2005), en estas praderas se alimentan a 778 677 cabezas de ganado (Gobierno del Estado de Campeche, 2018), esto quiere decir que tiene una capacidad de carga de 2,25 unidades por hectárea. Cabe señalar que en las áreas convertidas en praderas se encuentra el 72,2% del de ganado bovino en estos municipios (El ECONOMISTA, 2021).

Actualmente, solo se vende becerros al destete, lo cuales son engordados en otros lugares del país (Molina *et al*., 2019). Estos becerros provienen de un sistema de producción denominado Doble Propósito en donde se establecen razas para la producción de carne y leche (Cortina *et al*., 1999; Díaz *et al*., 2014). La producción se lleva a cabo con razas como Beefmaster, Brahman, Nelore, Simbrah, Charolay, Suizo Europeo, Sardo Negro, Suizo Americano y cruzas de Suizo Americano-Brahmán, Brahman-Simbrah e Indobrasil-Suizo. Estas razas se establecen en mayor proporción en sistemas de producción "Libre pastoreo" (Biopasos, 2018), donde la alimentación se provee en los agostaderos con pastos inducidos lo que hace que la alimentación dependa casi exclusivamente de la pradera. Por lo que los ganaderos no puedan mejorar la genética de su ganado y atender las exigencias del mercado.

Esta situación del párrafo anterior se debe a que el ganado esta subalimentado, la superficie de agostadero no provee lo suficiente en la época de seca. Cabe señalar que el clima en esta región es Cálido Subhúmedo con lluvias en verano, lo que indica que, en los meses de julio, agosto, septiembre y una parte de octubre es cuando llueve. Por tanto, se tiene meses intensos de sequía, lo cual, disminuye la cantidad de forraje en las praderas.

Por otra parte, en los potreros donde se lleva a cabo la ganadería extensiva existen árboles que son parte de un sistema de aprovechamiento integral (López *et al*., 2003). Estos árboles también son llamados multipropósito porque se les atribuye un papel importante en las fincas ganaderas, cumpliendo funciones más allá del aspecto forestal (Almario *et al*., 2021). Por ejemplo; *Acacia pennatula* (Schltdl. y Cham.) Benth. y *Guazuma ulmifolia* Lam. son especies importantes como forraje y leña en las áreas tropicales secas y subhúmedas (López *et al*., 2003). Así mismo, los árboles de parota tienen un valor alimenticio, ambiental y económico para los ganaderos (De Luna *et al*., 2017), y la Leucaena es un árbol con múltiples propósitos en las regiones de México (De Angelis *et al*., 2021; Salim *et al*., 2021). Por lo tanto; en los sistemas agroforestales donde existen estos árboles con multipropósitos ya se de manera nativa o introducida, pueden ser una alternativa a los problemas antes mencionados.

A partir de esta problemática quedan dos grandes interrogantes ¿Seguir deforestando la selva para abrir más áreas de cultivos y agostadero es la solución para generar los satisfactores de la población? y ¿Qué cambio de paradigma de manejo de las áreas de cultivo y agostadero serán los ideales para evitar la deforestación? La respuesta se encuentra en la agroforestería como un cambio de paradigma en la producción sustentable que busca la integración de los cultivos, árboles y animales para la generación de satisfactores, como leña, fruto, carne, granos, servicios ambientales, etc. El objetivo de este documento es realizar una propuesta conceptual de la agroforestería y el árbol de uso múltiple a través de una revisión bibliográfica con estudios de caso en el sur del estado de Campeche. Con esta investigación se pretende dar un enfoque multidisciplinario a través de los resultados ambientales, socioeconómicos y el potencial ganadero en contextos nacionales, internacionales y la región sur del estado de Campeche.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo tiene un enfoque cualitativo, a través de una revisión bibliográfica a través del buscador Google Académico, bajo un contexto internacional y local sobre el árbol de uso múltiple y su aplicación en el sur del estado de Campeche, la cual comprende los municipios de Hopelchén, Escárcega, Candelaria y la región este de Calakmul, con características propias de una selva baja subcaducifolia, con potencial moderada y moderada para las actividades agrícolas y ganaderas (García, 2014).

La investigación es de tipo bibliográfica a través de los diferentes textos encontrados referentes al tema de estudio. Para su análisis se realizó el método cualitativo

comparativo (Gibbs, 2007). Este proceso consistió en codificar los diferentes conceptos relacionados con la agroforestería, el árbol de uso múltiple y el caso en sur del estado de Campeche (socioeconómicos, ambientales y ganaderos). La búsqueda de códigos fue a través preguntas ordenadoras, para la discusión acerca de la potencialidad de la agroforestería como elemento conceptual y árbol de uso múltiple como objeto de estudio.

Las preguntas son: ¿Qué es la agroforestería y el árbol de uso múltiple como enfoque multidisciplinario para la solución de la problemática ambiental en el sur del estado de Campeche? ¿Por qué la agroforestería es una opción para las zonas donde la vegetación ha sido deforestada? ¿Por qué el árbol de uso múltiple es el elemento central de la agroforestería que mitiga los impactos a la vegetación por el cambio de uso de suelo? ¿Cuál es la relación entre la agroforestería y el desarrollo rural?

Al final se realizó un texto comparativo con los diferentes ordenes jerárquicos de los códigos y conceptos mencionados anteriormente

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

¿Por qué la agroforestería es una opción para las zonas donde la vegetación ha sido deforestada?

La agroforestería es una práctica antigua en el mundo y también en México (Torres y Palma, 2020; Moreno *et al*., 2012; Moreno *et al*., 2013; Moreno *et al*., 2014), particularmente con sistemas muy antiguos como la chinampa, la milpa maya, etc., además como un concepto ha sido entendida y definida de múltiples maneras, a menudo refiriéndose a una escala específica del sistema de interés (Dollinger y Jose, 2018). El vocablo agroforestería se acuñó en 1977 como parte de los primeros esfuerzos internacionales para iniciar la investigación sobre sistemas de producción integrados, que involucran cultivos y árboles (Krishnamurthy y Ávila, 1999; Nair y Garrity, 2012; Nair *et al*., 2021). Se consideró al árbol como su elemento fundamental, pero luego se cambió el término árbol por leñosa perenne para abarcar sistemas agroforestales basados en el uso de arbustos, bambúes, palmas y bejucos leñosos (Somarriba 1992; Montagnini, 1992; CATIE, 1993; Camero, 1997). Así el concepto de agroforestería fue cambiando y adaptando nuevos elementos, por ejemplo, Somarriba (1992), lo define como: "una forma de cultivo múltiple que satisface tres condiciones básicas: 1) existen al menos dos especies que interactúan biológicamente; 2) al menos uno de los componentes es una leñosa perenne; y 3) al menos dos de los componentes se manejan para satisfacer los objetivos del administrador de la tierra". En años más recientes, la agroforestería se ha especificado como: la práctica de integrar deliberadamente vegetación leñosa (árboles o arbustos) con cultivos y/o sistemas animales para beneficiarse de las interacciones ecológicas y económicas resultantes (Santiago, *et al*., 2021; Pantera *et al*., 2021). Con esta práctica se diversifica la tierra con el propósito de cultivar arboles junto con cultivos y/ o animales (Mercer, 1985; Borel, 1987; Young, 1989; Kim y Isaac, 2022). Dentro de los beneficios que tiene el establecimiento de los sistema agroforestales; destaca el de mejorar la captura de carbono en el suelo comparado con un sistema de monocultivo, incrementar la disponibilidad de nutrientes del suelo y la fertilidad, debido a la presencia de árboles en el sistema y mejorar la dinámica de las comunidades microbianas, lo cual tiene una influencia positiva en la salud del suelo (Kass *et al*., 1997; Heredia *et al*., 1997; Dollinger, 2018; Botero y Botero 1998), y puede contribuir a la solución de problemas medioambientales en la agricultura (Pantera *et al*., 2021; Heuveldop *et al*., 1985).

La práctica de asociar cultivos, ganado y árboles tiene diferentes connotaciones: cultivos bajo cubierta arbórea, agroforestería, agroforestería en arreglo lineal, agroforestería animal, agroforestería secuencial y técnicas agroforestales menores (Alcorn, 1990; Giraldo y Vélez 1993, Torres, 1995; Torquebiau, 2000). Una de las características de los sistemas agroforestales es que exista el factor árbol interactuando con los demás elementos, algunos árboles pueden tener la función de ser frutales o maderables (Somarriba, 1992), sin embargo, el uso de árboles va más allá de estos usos, porque las comunidades los pueden utilizar como: combustibles, postes, construcción, retenedores de suelo, y las ventajas ambientales como: el secuestro de carbono y la biodiversidad etc., de ahí que algunos de ellos tienen varias funciones y surja el concepto de árbol de uso múltiple o árbol multipropósito.

¿Por qué el árbol de uso múltiple es el elemento central de la agroforestería que mitiga los impactos a la vegetación por el cambio de uso de suelo?

Aspectos ambientales

El concepto de árbol de uso múltiple se refiere a toda planta leñosa cultivada deliberadamente, capaz de aportar más de una función o servicio a un sistema de uso de la tierra (Burley y Von Carlowitz, 1984, Benavides, 1998 Benavides, 1994, Kass, 1993; Schwengber, 1998; Kang, 1987), tales como: servicios ambientales, y culturales (Ángeles, 2022) con fines de recreación y estética (Nyberg *et al*., 2020), también puede cumplir funciones específicas según el área donde se encuentre o el propósito; los árboles en las tierras de pastoreo brindan y pueden mejorar múltiples servicios ecosistémicos, como el aprovisionamiento, la regulación, que incluyen el secuestro de carbono (Aryal *et al*., 2022).

El sistema agroforestal mediante procesos de restauración productiva integran prácticas de manejo diversificadas para la producción agroecológica y buscan

armonizar las necesidades de los productores en una región (Ceccon, 2013), pueden ayudar a reducir el impacto negativo que causan los sistemas de agricultura y pastoreo sobre la biodiversidad, este sinergismo puede aumentar la capacidad de la conservación biológica del territorio con el aumento de beneficios económicos para la sociedad rural (González *et al*., 2016). Además de la conservación a largo plazo de la biodiversidad (flora y fauna), y de las propiedades del suelo, agua y aire, mitigación y adaptación al cambio climático (Bucheli *et al*., 2020), y captura de carbono (Hernández *et al*., 2021), este último muy importante por dos conceptos: el primero es que los árboles se convierten en sumideros de carbono a largo plazo al capturar carbono mediante la fotosíntesis y el segundo es que reducen la necesidad de deforestar nuevos bosques para una agricultura migratoria deficiente (Clemente, 2021).

Hernández *et al*., (2021) señala que el bosque es el que presenta una mayor captura de carbono (216,6 t C ha^{-1}), superando en 59 % a SAF cacao y 72-73 % a SAF café y Sistemas silvopastoriles (SSP). Aunque, los sistemas agroforestales no igualarán y mucho menos superaran la captura de carbono de un bosque, si es superior a las plantaciones forestales en monocultivo las cuales almacenaron solamente entre 18,6 y 64,4 t C ha^{-1} con una tasa de fijación de carbono promedio de 1,4 y 4,9 t C ha $año^{-1}$ para las plantaciones y los SAF, respectivamente, en ambos casos dependiendo de la edad de los árboles, y se ha identificado a las familias Fabaceae, Lauraceae y Primulaceae como las que tienen el mayor almacenamiento de carbono (Patiño *et al*., 2018). Lo que nos da una pauta para el diseño de sistemas agroforestales con alta captura de carbono.

Aspectos socioeconómicos

A nivel socioeconómico los sistemas agroforestales (SAF) son una línea de investigación de gran importancia, ya que al tener diversidad de productos que se traducen en un incremento de ingresos en las unidades de producción, sin embargo, necesita de un manejo especializado para combinar a los elementos agrícolas, pecuarios y forestales. En un contexto internacional se mencionan casos exitosos en sistemas agroforestales como el cultivo de cacao, cultivo de café (Heuveldop, 1985) y algunos sistemas silvopastoriles extensivos. Cabe señalar que estos tres ejemplos, el árbol forma parte elemental para su establecimiento por las interacciones ecológicas y los subproductos que se obtienen además del producto principal. Esto se confirma con lo mencionado por Toruño *et al*. (2012) que los principales beneficios después del establecimiento de sistemas adaptativos como SAF son: incremento de la producción, restauración de los ecosistemas, recuperación de la biodiversidad, reducción de la erosión y reducción de la contaminación de las aguas.

Con respecto al cultivo de cacao, Pocomucha *et al*. (2016) encontró en Huanuco Perú que el manejo de las parcelas en su mayoría es de subsistencia y los rendimientos del cacao son bajos (489 kg ha^{-1}) pero que muestran actitudes positivas de satisfacción del cambio tecnológico hacia los SAF. Con base al enfoque de género en Ecuador y Perú se encontró que el incremento de elementos en los sistemas de cultivo de cacao con sistemas agroforestales que la mujer decidió incluir generando más ingresos (Ramos *et al*., 2019). Con estos dos ejemplos se menciona que los SAF se encuentran en las regiones pobres o indígenas, en donde la superficie de la tierra es pequeña, los medios de producción se basan generalmente en la mano de obra de los integrantes de la unidad de producción familiar, esto hace que eficienticen la unidad de producción familiar. Tal es el caso de la región de los Andes Bolivianos, que según Calicho y Escalera (2019) afirman que se ha incrementado la producción de biomasa por unidad de superficie, debido a que se aprovecha la producción de guinda y de haba en época rentable; primero se siembra haba y luego, después de la cosecha, se siembra avena o cebada.

Otro gran aporte económico de los SAF está en los sistemas ganaderos silvopastoriles. Como se mencionó en la problemática, se tiene como error el pensar que los animales solo comen lo que existen en las praderas, y no consumen los árboles, que se traduciría en pérdidas económicas para el sistema de producción. Según, Morán *et al*. (2014) al evaluar tres SAF en el trópico seco de Nicaragua, el sistema silvopastoril fue el que mejor dio ingresos económicos, dando así mayor aceptabilidad por parte de los jefes de la unidad de producción. Otro caso en Caquetá, Colombia al evaluar tres grupos de fincas que mantienen poco ganado y fundamentan su producción en cultivos perennes, reciben ingresos más altos que los otros dos grupos al generar mayor ganancia por área utilizada (Ramírez *et al*., 2012).

Los estudios de caso mencionados afirman lo realizado por Montagnini *et al*. (1986), que usar varias especies cuyos productos se obtengan de diferentes tiempos, mientras los árboles crecen y se aprovechan es una buena opción, ya que genera productores intermedios y acorta la espera. Además, que esto depende de los objetivos del campesino. Ya que cuando su productividad aumenta a través del tiempo, produce conservando y conserva produciendo (Jiménez *et al*., 2001). Estos ejemplos son un claro ejemplo de que económicamente es viable la introducción de los SAF, pero necesita mucho trabajo multidisciplinario para su establecimiento.

¿Cuál es la relación entre la agroforestería y el desarrollo rural?

Los sistemas silvopastoriles constituyen una estrategia integral por la utilización del árbol de uso múltiple en los potreros (Ledesma, 2002) que además de ofrecer sombra también ofrece de manera práctica el follaje de estas

especies no gramíneas a los rumiantes y pueden disminuir entre un 20 y 38% la emisión de GEI, dependiendo de las condiciones en las que se desarrolla el sistema y el manejo implementado (Sandoval *et al*., 2020). La agroforestería con ganado permite asociar árboles y arbustos dentro de las tierras de pastoreo lo cual trae efectos positivos en la producción de carne y leche (Mahecha, 2002), ya que, es una producción más limpia que provee mayores beneficios ambientales: como el secuestro de carbono y reducción de emisiones de gases efecto invernadero, conservación de la biodiversidad, enriquecimiento del suelo e incrementa la calidad del aire y agua (Yadav *et al*., 2019).

El objetivo de los sistemas agrosilvopastoriles es la utilización diversificada de especies forrajeras y no forrajeras como parte fundamental de la producción animal (Molina *et al*., 2019); las leñosas incluidas en estos sistemas son fuente de forraje disponible y accesible a nivel de rancho; proporcionan variedad a la dieta; e incrementan los rendimientos productivos de los animales y beneficios adicionales por concepto forestal.

Otras ventajas de los sistemas silvopastoriles son: influencia laxativa en el tracto digestivo, reducción de costos de alimentación, fuente de nitrógeno, energía, minerales y vitaminas (Urbano y Dávila, 2005), reducen el estrés calórico (Navas, 2010) por la sombra que ofrecen los árboles a los animales (Villanueva, 2009). Además, la inclusión de árboles en la ganadería ayuda a optimizar la relación suelo-planta-animal, que manejados adecuadamente pueden mejorar el nivel de vida de las personas dedicadas al campo y reparar la interacción con la flora y la fauna silvestre.

Algunas de las especies de árboles incluidos en la dieta de rumiantes (Principalmente leguminosas) disminuyen la producción de metano, debido a que contienen metabolitos secundarios tales como: taninos condensados, compuestos fenólicos, esencias de aceites, flavonoides y saponinas presentes en la hoja, lo que en la ganadería tropical se puede utilizar de manera natural (Sandoval *et al.,* 2020; Ángeles, 2022), también se ha identificado a las leguminosas como una fuente importante de proteína por lo que estas especies se utilizan como bancos de proteína (Kechero y Andualem, 2022).

Una de las leñosas tropicales multipropósito es *Samanea saman* la cual se adapta a las condiciones tropicales y tiene potencial como alimento alternativo para rumiantes (Pérez *et al*., 2023) y no rumiantes (Campos *et al*., 2023). Además de que produce abundante biomasa comestible, tiene niveles de proteína cruda superiores al 20% y presencia de compuestos lipídicos, carbohidratos solubles y minerales en su follaje y sus frutos (Delgado *et al*., 2014).

Leucaena leucocephala también tiene una amplia variedad de usos, que la han catalogado como un árbol multipropósito. El primer y más ampliamente conocido, se basa en la alta calidad nutricional de hojas de esta planta para consumo animal ya que llega hasta un 27% (CONABIO, 2021), cualidad por la cual se le considera como la reina de las leguminosas tropicales. Ha sido utilizada en el mundo entero para otras funciones, como cercas vivas, alimentación de especies animales, sombra para los animales, y aunque es un árbol que se ha utilizado para la ganadería (Barros *et al*., 2015), no se debe descartar otros usos: como árbol de alta densidad energética. Su capacidad para prosperar en condiciones adversas y los nutrientes constituyentes lo hacen valioso para biogás, bioaceite, biodiesel, etanol, carbón vegetal, carbón activado, etc., (Alemán *et al*., 2022).

Estudio de caso. Experiencias en el sur del estado de campeche

Aspectos ambientales

Anteriormente se ha mencionado que el árbol de uso múltiple juega un papel muy importante en los sistemas agroforestales de las comunidades que los han implementado, en el Estado de Campeche específicamente en Calakmul, Hernández *et al*. (2021) y Matías *et al*., (2023) han reconocido 16 usos potenciales en sistemas Agroforestales y Sistemas pastoriles; de las especies identificadas 47 están protegidos en los listados de CITES, UICN y la NOM-059, también identificaron valores de carbono de 6,96 Mg C ha^{-1} hasta 34,40 Mg C ha^{-1} cuando se utilizaron SAF y Sistemas silvopastoriles como formas de recuperar áreas degradadas.

Con base a la vegetación de la región sur del Estado de Campeche, las especies que caracterizan a la selva baja caducifolia son: *Acacia gaumeri, Alvaradoa amorphoides, Bursera simaruba, Caesalpinia gaumeri, C. yucatanensis, Ceiba aesculifolia, Diospyros cuneata, Gymnopodium floribundum, Hampea trilobata, Jatropha gaumeri, Neomillspaughia emarginata, Parmentiera aculeata, Piscidia piscipula, Randia longiloba, Sideroxylon americanum*, entre otras (Miranda, 1978; Flores y Espejel, 1994).

El estado de Campeche ocupa el tercer lugar en cuanto a cobertura de selvas tropicales, con 4,6 millones de hectáreas de superficie (SEMARNAT, 2018). Estas cifras tienen un efecto positivo en el medio ambiente del estado. Con respecto a la protección contra la erosión (Bruijnzeel, 2004; Constanza *et al*., 1997), la captura de carbono que ronda en 42,2-66,5 ton ha^{-1} (Cairns *et al*., 2000), la regulación hidrológica que al conservar la vegetación forestal los sedimentos y contaminantes dismuyen, e incrementa la calidad del agua (Likens *et al*., 1970; Borman y Likens, 1979; Likens, 1985).

Algunas de las especies como: *L. leucocephala*, *Piscidia piscipula, Brosimum alicastrum*, *Guazuma ulmifolia*, *Tithonia. diversifolia* y *Morus alba* tienen un

alto potencial para ser incluidos en la dieta de rumiantes como fuentes de proteína en época de secas y estrategias para mitigar las emisiones de metano (Pérez *et al*., 2020**)**. Dichas especies se encuentran distribuidas y se encuentran de forma regular en los potreros de los ganaderos en el sur de Campeche.

Aspectos socioeconómicos

A nivel nacional se han realizado algunos estudios sobre la socioeconomía de los SAF. En los Tuxtlas, Veracruz se hizo una parcela demostrativa para que los campesinos observaran otra alternativa de manejo de ganado con sistemas silvopastoriles, encontrando una reducción en los costos de mantenimiento debido a que los productores no dependen de insumos externos (De la Peña *et al*., 2022). A nivel regional, en la Reserva de la Biosfera de la Sierra de Huautla, Morelos, Cruz *et al*. (2021) evaluó a grupos de productores con base a los umbrales de sobrevivencia a unidades de producción campesina con sistemas silvopastoriles y concluye que la ganadería es el elemento que hizo salir de la pobreza, pero es importante el manejo territorial de los agostaderos.

Con respecto al estado de Campeche generalmente está relacionado con la ganadería en la región sur. Cabe señalar que a pesar de que existe una deforestación muy grave, el ganado se alimenta de los árboles y arbustos que se encuentran en los acahuales (Albores *et al*., 2020). Su presencia en ranchos ganaderos provee servicios ambientales (SA), que pueden ayudar a conciliar la conservación de la biodiversidad (Alvarado *et al*., 2019). Independiente del potencial ambiental, son los beneficios económicos que hace que los ganaderos reduzcan costos en las temporadas de escases de forraje.

Según Ortiz y Alayon (2021) confirma que los ganaderos perciben una gama de valores que brinda el acahual; al proveerles servicios de aprovisionamiento, soporte, regulación y culturales; estas percepciones se basan en su conocimiento empírico, y se refleja en las prácticas de manejo. Sin embargo, no es tan fácil, esto debido a que hay limitaciones como control higiénico sanitario, aplicación de herbicidas e insecticidas sintéticos, lactancia natural hasta los ocho meses, cálculo de la carga animal, uso de un sistema silvopastoril y principalmente asesoría y/o capacitación para la certificación orgánica, plan de desarrollo orgánico y certificación, control interno del proceso orgánico y estímulos para la producción ganadera orgánica (Cuervo *et al*., 2020). Por ello, es un proceso de experimentación con los campesinos para que puedan adoptar las tecnologías y constaten los beneficios económicos. Como es el caso de 30 ranchos evaluados en el estado Campeche, donde encontraron que diez de ellos mostraron una correlación entre la diversidad de especies y la producción ganadera (Alatriste, 2018).

Pero a pesar de las complicaciones, las instituciones gubernamentales han buscado una manera de capitalizar a estos ganaderos o campesinos para llegar a la transmisión agroforestal. En el estado de Campeche del año 2012 al 2018 se destinaron $ 34 577 063,20 a través de diversos programas de la CONAFOR en 5807,07 ha con abonos verdes en cultivos en callejones, cultivos agrícolas con árboles forestales, y sistemas silvopastoriles (Domínguez, 2020). Otro programa es Sembrando Vida fomenta sistemas Agroforestales con una superficie de 2,5 ha por beneficiario, que tendrá un subsidio de $5000,00 M.N (256 dólares) por ha (Diario Oficial de la Federación, 2022).

Con estos estudios de casos se puede decir que económicamente es una opción el cambio tecnológico hacia los sistemas agroforestales en las áreas deforestadas. Sobre todo, en la región sur de Campeche es en la reducción de costos en la alimentación. Cabe señalar que la tendencia de la ganadería actual busca que los campesinos aprovechen al máximo los recursos de la selva baja o acahual, esto a través del uso del árbol. Sin embargo, las características culturales de los productores ganaderos, junto con la presencia de los bovinos y otras especies animales, vegetales, y entidades sobrenaturales, configuran las percepciones y conocimientos sobre los valores de la naturaleza y las contribuciones de la naturaleza en los sistemas silvopastoriles (Matías *et al*., 2023).

Aspectos ganaderos

En el estado de Campeche los árboles multipropósito son muy importantes. Según Cabrera *et al*. (2019) se han utilizado para construcción de cercos vivos, medicinales, postes y elaboración de muebles, las especies con un valor cultural mayor son; *Bursera simaruba* (Chacá), *Gliricidia sepium* (Cocoite o palo de sol), *Paramentiera aculeata* (Chote), *Brosimum alicastrum* (Ramón), *Tabebuia rosea* (Palo de rosa), *L. leucocephala* (Huaxim), *Guazuma ulmifolia* (Guácimo), *Morus alba* (morera).

En el caso de la alimentación de los frutos tradicionalmente comestibles en Campeche rebasan la centena, entre ellos, resaltan familias como la *Sapotaceae, Annonaceae, Caricaceae, Palmae, Anacardiaceae, Sapindaceae, Malpighiaceae, Punicaceae*; entre otras, que albergan varias especies con frutos comestibles, tanto para el hombre como para la fauna silvestre (Bolívar, y Valencia, 2007).

En algunas comunidades como Pich, Campeche se han registrado el uso comunitario de 135 especies vegetales y siete categorías de aprovechamiento respectivamente. En la misma región el *Brosimum alicastrum* (Ramón) se ha estudiado ampliamente debido a sus bondades y usos con amplio potencial para la alimentación humana y animal con propiedades nutraceúticas, usos medicinales y

sistemas de producción, las poblaciones mayas utilizan las semillas, hojas, tallos y frutos (Santillán *et al*., 2020).

Árboles nativos de la Península de Yucatán como: *Enterolobuum cyclocarpum* (pich), *G. ulmifolia* (Guásimo), *Lysiloma. Latisiliquum* (Tzalam), *Leucaena. leucocephala* (Huaxim) y *Piscidia piscipula* (Jabín) además del uso cultural que tienen disminuyen la producción de metano en rumiantes alimentados con estas fuentes de forrajes, lo que trae como beneficio una mejor eficiencia en la utilización de la energía y en el medio ambiente (Ángeles, 2022). La reducción de este metabolito en animales alimentados con leguminosas tropicales va desde 20 a 38 % (Sandoval *et al*., 2020). En Campeche existen alrededor de 192 especies pertenecientes a la familia Fabaceae, muchas de ellas con potencial forrajero y que pueden utilizarse como fuente de proteína, y algunas de ellas pudieran tener bajo potencial de metano (Pacheco y Silvano, 2021).

Otra actividad importante es la apicultura, que está muy vinculada con los árboles de uso múltiple. De los 11 municipios que conforman el estado de Campeche, 10 presentan desarrollo de la actividad apícola, en el que destaca el municipio de Champotón, seguido del municipio de Calakmul, aunque éste cuenta con un inventario de colmenas más grande que Champotón. En total son 56 grupos organizados de apicultores, los cuales se encuentran distribuidos en todo el territorio campechano (Sistema Producto Apícola del Estado de Campeche, 2009). Esta actividad no solamente se realiza en la parcela del campesino, sino en todo el territorio dónde exista vegetación importante. La superficie que cuenta el estado de Campeche aproximada es de 53 833 km^2, con una diversidad floral que está representada por más de 3 000 especies de plantas (Berrón *et al*., 2003).

Por otra parte, en un estudio realizado por Pérez *et al*. (2021) encontró que una unidad de producción de Campeche, México realiza prácticas como establecimiento y manejo de cercos eléctricos, rotación de potreros, ensilaje, banco de proteína, cercas vivas, manejo de la regeneración natural en potreros, control de malezas, manejo de desparasitantes; como prácticas de inclusión del árbol.

CONCLUSIÓN

Se concluye que se puede detener la deforestación en el estado de Campeche con los sistemas agroforestales en las tierras que tuvieron un cambio de uso de suelo. No solamente se detendría, si no también se recuperaría una parte de la cobertura vegetal a través de la reforestación. Donde serán árboles que cumplan múltiples funciones y que sean propuestos por los campesinos.

En el aspecto socioeconómico se confirma que los sistemas agroforestales pueden llegar a ser económicamente viables. Sin embargo, existen limitaciones que todavía restringen la apropiación de los campesinos y ganaderos. Pero cuando se realiza un buen programa de manejo y medición de los diferentes beneficios de los sistemas agroforestales se pueden llegar a tener resultados a corto, mediano y largo plazo.

La agroforestería y el árbol de uso múltiple son conceptos que van de la mano y que los métodos y enfoques de investigación deben de ser multidisciplinarios. Con esto se busca que los actores locales sean participes en programas de reforestación con especies de su preferencia y que los investigadores sean capaces de trabajar en un dialogo de saberes con la comunidad. Con esta sinergia se puede llegar a espacios que los tomadores de decisiones no han llegado.

LITERATURA CITADA

Acopa, D., y Boege, E. 1999. Las selvas mayas en el sur de Campeche, México. Experiencias en la construcción de la forestería social en Calakmul. En: R.B. Primack, D. Bray, y H.A. Galletti, y I. Ponciano (eds.) *La Selva Maya: Conservación y Desarrollo*. Siglo XXI editores, México. P. 120-135.

Alatriste, G. M. F. 2018. Contribución de la diversidad florística a la productividad ganadera en tres Municipios de Campeche, México. Tesis de maestría. CATIE. Costa Rica. P. 103. https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8983

Albores, M. S., Alayón, G. J.A. Morón, R. A., Ortiz, C. P. N., Ventura, C. J., González, P. P.G., Mendoza, A. G.E., Ku, V. J.C., Jiménez, F. G., Piñeiro, V. A. T. 2020. Influence of the composition and diversity of tree fodder grazed on the selection and voluntary intake by cattle in a tropical forest. *Agroforestry Systems*. 94 (5):1651-1664. DOI: https://doi.org/10.1007/s10457-020-00483-9.

Alcorn, J. B. 1990. Indigenous agroforestry systems in the Latin American tropics. En: Altieri M. A. y Hecht S.B. (Eds.) *Agroecology and Small Farm Development*. Editorial Boca Raton, CRC Press, Boca Raton.

Alemán, R. J., Okoye, P. U., Torres, A. S., Mejía, L. M., & Sebastian, P. J. 2022. A review on bioenergetic applications of Leucaena leucocephala. *Industrial Crops and Products.* 182: 114847. DOI: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114847.

Alvarado, F., Dáttilo, W., Escobar, F. 2019. Linking dung beetle diversity and its ecological function in a gradient of livestock intensification management in the Neotropical region. *Applied Soil Ecology.* 143

(11): 173-180. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.06.016

Almario, N. P., Rios, E. L. M., Delgado, J. M., Cruz, D. C., Mejía, J. R. 2021. Criterios de uso y conservación de árboles en potreros basados en el conocimiento local de los ganaderos en una zona de bosque seco tropical en Colombia. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*. 9(3): 321-336. DOI: https://doi.org/10.17138/tgft(9)321-336.

Ángeles, M. Y., Cen, C. E. R., Crosby, G. M. M., Ramírez, B. J. E., Candelaria, M. B., Sánchez, V. A., & Ramírez, M. M. 2022. Foliage of Tropical Trees and Shrubs and Their Secondary Metabolites Modify *In Vitro* Ruminal Fermentation, Methane and Gas Production without a Tight Correlation with the Microbiota. *Animals*, 12(19): 2628. DOI: https://doi.org/10.3390/ani12192628.

Aryal, D. R., Morales, R. D. E., López, C. S., Tondopó, M. C. N., Lara, N. A., Jiménez, T. J. A., Ibrahim, M. 2022. Silvopastoral systems and remnant forests enhance carbon storage in livestock-dominated landscapes in Mexico. *Scientific reports*, 12(1): 1-18. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-022-21089-4.

Barros, R. M. A., Solorio, F. J., Sandoval, C. C. A, Klieve, A., Rojas, H. R., Briceño, P. G., y Ku, V. 2015. Rumen function in vivo and in vitro in sheep fed Leucaena leucocephala. *Trop Anim Health Prod*, (47): 757–764. DOI: https://doi.org/10.1007/s11250-015-0790-y

Benavides, J. E. 1998. Árboles y arbustos forrajeros: Una alternativa Agroforestal para la ganadería. En: FAO (Conferencia) '*'Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica"*. Roma. P 23.

Benavides, J. 1994. Árboles y arbustos forrajeros en América Central, Costa Rica. *Serie Técnica, Informe Técnico. CATIE*, 1: 236.

Berrón, F. G. E., Arteaga, A. M., Noriega, T. R., Martínez, L.R., Godínez, G. L., Vargas, S. L. 2003. Las áreas naturales protegidas del estado de Campeche. *Nueva Época Revista de la Universidad Nacional Autónoma de México*, 623: 24-29.

BIOPASOS (Biodiversidad y Paisajes Ganaderos Agrosilvopastoriles Sostenibles). 2018. Caracterización de la ganadería bovina en el estado de Campeche, México. BIOPASOS. 31 p.

Bolívar F. N., y Valencia, G. 2007. Recursos fitogenéticos de origen tropical: Su valor nutricional. Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, México. 235 p.

Borel, R. 1987. Sistemas silvopastoriles para la producción animal en el trópico y uso de árboles forrajeros en alimentación animal. CATIE. CR. 24 p.

Botero, R., Botero, L.M. 1998. Manejo de praderas y cobertura arbórea con ganado doble propósito en la zona caribe. En Álvaro, U.C. (Comp.) *Silvopastoreo: Alternativa para mejorar la* sostenibilidad y competitividad de la ganadería colombiana. Compilación memoria 1995 – 1996 de dos seminarios internacionales. CORPOICA/COLCIENCIAS/FEDEGAN/MINISTER IO DE AGRICULTURA. P 125 – 140.

Borman, F.H., y Likens, G.E. 1979. *Pattern and Process in a Forested Ecosystem*. Springer-Verlag. New York. P 253.

Bravo, M. C., y López G. A. M. 1999. Inventario de especies vegetales y animales de uso artesanal. *Biodiversitas*, 22:9-14.

Bucheli, P., Julián, V., Muchavisoy, M., & Henry, K. 2020. La Agroforestería frente a la Agenda 2030. DOI: https://repository.udca.edu.co/handle/11158/3963.

Burley, J., Von Carlowitz P. (1984). Multipurpose tree germplasm: Proceedings of a Planning Workshop, Nairobi.

Bruijnzeel, L.A. 2004. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture. Ecosystems and Environment*, 104: 185–228. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.015

Cabrera, N. A., Lammoglia, V. M., Alarcón, P. S., Martínez, S. C., Rojas, R. R., Velázquez, J. S. 2019. Árboles y arbustos forrajeros utilizados para la alimentación de ganado bovino en el norte de Veracruz, México. *Abanico veterinario*, 9: 1-12. DOI: https://abanicoacademico.mx/revistasabanico/index.php/abanico-veterinario/article/view/192.

Calicho R. y Escalera, L. C. 2019. Agroforestería familiar en valles altoandinos. Ante el cambio climático, resiliencia territorial en Colomi, Bolivia. *Revista LEISA,* 35 (4): 16-19. DOI: https://leisa-al.info/index.php/journal/article/view/155.

Campos, B. K. M., Santillán, P. S., Salado, N. T., Gutiérrez, L. A., Jiménez, L. A. S., & Marcelino, L. A. 2023. Fermentación in vitro de un suplemento con niveles crecientes de vainas maduras de algarrobo (*Samanea saman*). *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 31(Suplemento): 181-185. DOI: https://doi.org/10.53588/alpa.310532.

Camero, A. 1997. Cuatro Décadas de Experiencia Agroforestal en CATIE. En: *Memorias Seminario Nacional sobre Agroforestería*. FUNDACIÓN Loma Quita Escuela Santo Domingo. República Dominicana. 1-20.

Cairns, M., P. Haggerty, R. Alvarez, B. De Jong, y I. Olmsted. 2000. Tropical Mexico´s recent land-use change: a region´s contribution to the global carbon cycle. *Ecological Applications*, 10(5): 1426-1441. https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[1426:TMSRLU]2.0.CO;2

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1993. *Curso Internacional "Desarrollo de sistemas Agroforestales"*. Documento JICA. Turrialba, CR. 210 p.

Ceccon E. 2013. Restauración en bosques tropicales: fundamentos ecológicos, prácticos y sociales. Universidad Nacional Autónoma de México. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias CRIM/UNAM, Díaz de Santos Editorial. México.

Clemente, A. E. R. 2021. Captura de carbono en sistemas agroforestales en el Perú. *Revista Forestal del Perú,* 36(2):180-196. DOI: http://dx.doi.org/10.21704/rfp.v36i2.1797

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2021. *Leucaena leucocephala*. Consultado en: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/44-legum26m.pdf

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2021. Las selvas humedad. Consultado en: https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/selvaHumeda.

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2020. Estimación de la tasa de deforestación bruta en México para el periodo 2001-2018 mediante el método de muestreo. Documento técnico. CONAFOR. México. DOI: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/1_Volume1/V1_3_Ch3_Uncertainties.pdf.

Cortina, V. S., Macario, M. P., Ogneva, H. Y. 1999. Cambios en el uso del suelo y deforestación en el sur de los estados de Campeche y Quintana Roo, México. Investigaciones geográficas. *Boletín del instituto de geografía de la UNAM*, 38:41–56. DOI: http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n38/n38a 5.pdf.

Constanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grassor, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V.O. Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Suton, y M. Belt. 1997. The value of the world's ecosystems services and natural capital. *Nature*, 387: 253-260. https://doi.org/10.1038/387253a0

Cruz, A. R., Cruz, L. A., Uribe, G. M., Ramírez, V. B., Cuevas, R. V., Fernández, R. P. 2021. Socioeconomic analysis of peasant production units of the traditional silvopastoral system in the Sierra de Huautla Biosphere Reserve of Morelos. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 1(1): 3–17. DOI: 10.5154/r.rchsat.2021.01.0.

Cuervo, O. V.D., Candelaria M. B., Quetz, A. E. M., Pérez S. E., Mejenez L. S. M. A. 2020. Evaluación de la capacidad de cambio de los sistemas ganaderos de Campeche hacia un modelo de producción orgánica. Tropical and subtropical agroecosystems*,* 23 (85): 1-12. DOI: https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/11710

De Angelis, A., Gasco, L., Parisi, G., Danieli, P. P. 2021. A multipurpose leguminous plant for the Mediterranean countries: Leucaena leucocephala as an alternative protein source: A review. *Animals*. 11(8):2230. DOI: https://doi.org/10.3390/ani11082230.

De la Peña, D. M., L. M. Ayestarán H. J. F. Márquez, T. F. Martínez, M. E. Rivas, A. P. V., Carrasco, C. M. N., Pérez, C. F. A., Chang, L., y Martínez, G. C. 2022. Sistemas silvopastoriles enriquecidos: una propuesta para integrar la conservación en la producción ganadera en comunidades rurales de Los Tuxtlas, México. Acta Botánica Mexicana*,* 129: 1925. DOI: https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1925

De Luna, V. A., García, S. M.L., Rodríguez, G. E., Pimienta, B. E., Escalante. M. R. 2017. Potencial alimenticio animal con harina frutos de parota (*Enterolobium cyclocarpum*, Jacq.) y capomo (*Brosimun alicastrum*, Sw). *Revista de Simulación y Laboratorio*. 4(10): 13-21. DOI: Revista_de_Simulacion_y_Laboratorio_V4_N10_3.pdf

Delgado, D. C., Hera, R., Cairo, J., Orta, Y. 2014. *Samanea saman,* árbol multipropósito con potencialidades como alimento alternativo para animales de interés productivo. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola,* 48(3): 205-212. DOI: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193032133001.

Diario Oficial de la Federación. 2022. Acuerdo Modificatorio al similar por el que se emiten las Reglas de Operación del Programa Sembrando Vida,

para el ejercicio fiscal 2022, publicado el 31 de diciembre de 2021. Gobierno de México. México.

Díaz, C. A., López, S. Y., Castillo, C. E., Padilla, C. C., Jordán, V. H., Martínez, Z. R.O., Ruíz, V. T.E., Díaz, S. M.F., Moo C. A.F., Gómez, C. O., Alpide, T. D., Arjona, R. M.R., Ortega, G. G. 2014. Caracterización de ranchos ganaderos de Campeche, México. Resultados de proyectos de transferencia de tecnologías. *Avances en investigación Agropecuaria*, 18:41–61. DOI: http://ww.ucol.mx/revaia/portal/pdf/2014/mayo/3.pdf.

Dollinger, J., y Jose, S. 2018. Agroforestry for soil health. *Agroforestry systems*, 92(2): 213-219. https://doi.org/10.1007/s10457-018-0223-9

Domínguez, A. B. 2020. *Análisis de los programas para el establecimiento y mantenimiento de los sistemas agroforestales en el estado de Campeche*. Tesis de Maestría. Colpos, Campeche. México.

El ECONOMISTA. 2021. Producción bovina en el estado de Campeche. El Economista. Consultado en: https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Produccion-bovina-en-el-estado-de-Campeche-20210830-0117.html.

Escamilla, A., San Vicente M., Sosa M., y Galindo, L.C. 2000. Habitat mosaic, wildlife availability and hunting in the tropical forest of Calakmul, Mexico. *Conservation Biology*, 14: 1562-1601. https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2000.99069.

Flores J.S. y Espejel I. 1994. *Tipos de vegetación de la Península de Yucatán*. Etnoflora Yucatanense, Fascículo 3. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, México.

Gibbs, R. 2007. *Análisis de datos cualitativos*. España. Editorial Morata. 197 p.

Giraldo, L.A; Velez, G. 1993. *El componente animal en los sistemas silvopastoriles. Industria & producción agropecuaria*. Azoodea. Medellín. p 253.

Gobierno del estado Campeche. 2018. *Informe*. Gobierno del estado de Campeche. México.

González, V. N. A., Casanova, L. F., Cetzal, I. W. 2016. Sistemas agroforestales y agrobiodiversidad. *Agroproductividad*, 9(9): 56-60.

Hernández, D. G. A., Esparza, O. L., Romero, E. M., Pat, F. L., Maya, M. A. 2021. Diversidad arbórea, uso y carbono almacenado en áreas con restauración productiva en Calakmul, Campeche. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios,* 8(3): 1-16. DOI: https://doi.org/10.19136/era.a8n3.282.

Hernández, N. H. E., Andrade, H. J., Suárez, S. J. C., Gutiérrez, G. G. A., Trujillo, T. E., & Casanoves, F. 2021. Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales en los Llanos Orientales de Colombia. Revista de Biología Tropical, 69(1): 352-368. DOI: http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v69i1.42959.

Heredia, Y., Kass, D., Faustino, J., Fernández, C. 1997. *Efecto de sistemas agroforestales sobre propiedades físicas del suelo*. Actas III Semana Científica del CATIE. Costa Rica. 3- 5 de febrero Turrialba. 67 p.

Heuveldop, J. 1985. *Sistemas agroforestales de café, Coffea arábica con laurel, Cordia alliodora y café con poró, Erythrina poeppigiana, en Turrialba*. II Producción agrícola, maderable y de residuos vegetales. CATIE. Costa Rica.

Jiménez, F., Musschler, R., Koppel, E. 2001. *Funciones y aplicaciones de los sistemas agroforestales. Colección de módulos de enseñanza agroforestal, Modulo 6*. CATIE, Costa Rica. 187.

Kang, G. F. W. 1987. The development of alley cropping as a promising agroforestry technology. En: H.A Steppler, P.K.R. Nair (eds.) *Agroforestry. A decade of development*. Nairobi, Kenia. ICRAF. 227-244

Kass, D., Bradley, R. S., Nygren, P. 1997. The role of nitrogen fixation and nutrient supply in some agroforestry systems of the Americas. *Soil Biology Biochem*, 29 (5-6): 775 – 785.

Kass, D. 1993. *Tecnologías agroforestales secuenciales y espaciales*. Curso Potsgrado CATIE. Costa Rica. 24 p.

Kechero, Y., y Andualem, D. 2022. In-vitro gas production kinetics and methane emission potential of selected indigenous legume fodder tree and shrubs in the semi-humid condition of the southern Ethiopia. *Research Square*, 1: 1-27. DOI: https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2019490/v1.

Kim, D. G. y Isaac, M. E. 2022. Nitrogen dynamics in agroforestry systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(4): 1-18. DOI: https://doi.org/10.1007/978-90-481-2666-8_1.

Krishnamurthy, L., Ávila, M. 1999. *Agroforestería básica*. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. México, D.F.

Likens, G. E., Bormann, F.H Johnson, N.M. Fisher, D.W., Pierce, R. S. 1970. Effects of forest cutting and herbicide treatment on nutrient budgets in the Hubbard Brook watershed-ecosystem. *Ecol. Monogr*., 40(1):23-47.

Likens G.E. 1985. *An ecosystem approach to aquatic ecology: Mirror Lake and its environment*. Springer-Verlag, New York. 516 p.

López, M. D., Soto, P. L., Jiménez, F. G., & Hernández, D. S. 2003. Relaciones alométricas para la predicción de biomasa forrajera y leña de *Acacia pennatula* y *Guazuma ulmifolia* en dos comunidades del norte de Chiapas, México. *Interciencia*. 28(6): 334-339. DOI: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442003000600005&lng=es&tlng=es.

Ledesma, L. M. 2002. El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 15(2): 226-231.

Mahecha, L. 2002. El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina. *Ciencias Pecuarias*, 15: 213.

Matías, J. M., Alayon, G J. A., Aguilar C. W., Aldasoro M. M. 2023. Percepciones y conocimientos de los sistemas silvopastoriles tradicionales en Campeche, México, un enfoque multiespecie. *Sociedad y Ambiente*, 26: 1-29. DOI: https://doi.org/10.31840/sya.vi26.2748.

Mercer, D. E. 1985. Integrating nature, man, forestry and agriculture: A conceptual framework for agroforestry in the humid tropics. Working paper. East-West Center, East-West Environment and Police Institute. Honolulu, Hawai. 88 p.

Miranda, F., y Hernández, X. E. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 28: 29-179.

Miranda F. 1978. *Vegetación de la Península Yucateca*. Colegio de Postgraduados–Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Chapingo. México.

Molina, R. M., Olea, P. R., Galindo, M. F. A., & Arriaga, J. C. M. 2019. Análisis de ciclo de vida de tres sistemas ganaderos tropicales en Campeche, México: Caso de estudio. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22: 127-141. DOI: http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.2774.

Montagnini, F., Haines, B., Boring, L., Swank, W. 1986. Nitrification potentials in early successional black locust and in mixed hardwood forest stands in the southern Appalachians, USA. *Biogeochemistry,* 2(2): 197-210.

Montagnini., F. 1992. *Sistemas agroforestales: Principios y aplicaciones en los trópicos*. CATIE. San José, C.R. 622 p.

Morán, M. B., Herrera, A., López, B. K. 2014. Evaluación socioeconómica y ambiental de tres tipos de sistemas agroforestales en el Trópico Seco Nicaragüense. Revista Científica de FAREM-Estelí. *Medio ambiente, tecnología y desarrollo humano*, 11: 13-26. DOI: http://dx.doi.org/10.5377/farem.v0i11.1601.

Moreno, C. A. I., Toledo, V. M. y Casas, A. 2013. Los sistemas agroforestales tradicionales de México: Una aproximación biocultural. *Botanical Sciences*, 91(4): 375-398.

Moreno, C. A. I., Casas, A., García, F. E., Torres, G. I. 2012. Traditional agroforestry systems of multi-crop "milpa" and "chichipera" cactus forest in the arid Tehuacan Valley, Mexico: Their manage-ment and role in people's subsistence. *Agroforestry Systems*, 84: 207-226.

Moreno, C. A. I., García, L. V.J., Casas, A., Toledo, V.M., Vallejo, R.M., Santos, F. D, Camou, G. A. 2014. La etnoagroforestería: el estudio de los sistemas agroforestales tradicionales de México. *Etnbiología*, 12(3): 1-16. DOI: https://revistaetnobiologia.mx/index.php/etno/article/view/167/166.

Navas, P. A. 2010. Importancia de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en sistemas de producción ganadera tropical. *Revista de Medicina Veterinaria,* (19): 113-122. DOI: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-93542010000100010.

Nair, P. R., Kumar, M.B. & Nair, V. D. 2021. *An Introduction to Agroforestry*. Springer Cham. Switzterland. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-75358-0.

Nair, P. R. y Garrity D. P. (Eds.). 2012. *Agroforestry-The future of global land use*. Springer. Nueva York.

Nyberg, Y., Wetterlind, J., Jonsson, M., Öborn, I. 2020. The role of trees and livestock in ecosystem service provision and farm priorities on smallholder farms in the Rift Valley, Kenya. *Agricultural Systems*, 181: 102815. DOI: 10.1016/j.agsy.2020.102815.

Ortíz, C. P. N., Alayón, G. J. A. 2021. Percepción social de servicios ambientales en sistema silvopastoril de

pequeños ganaderos en Campeche. Avances de Investigación Agropecuaria. *Revista de investigación científica agropecuaria*, 25 (3): 165-166. DOI: https://doi.org/10.53897/RevAIA.21.25.42.

Pacheco, B., y Silvano, E. 2021. *Uso de leguminosas tropicales como alternativa para reducir la metanogénesis ruminal y su efecto sobre la fermentación In vitro*. Colegio de Postgraduados. México. DOI: http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/4607/Beytia_Pacheco_ES_MC_Bioprospeccion_Sustentabilidad_%20Agricola_Tropico_2021.pdf?sequence=1.

Pantera, A., Mosquera, L. M. R., Herzog, F., & Den Herder, M. 2021. Agroforestry and the environment. *Agroforestry Systems*, 95(5): 767-774. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s10457-021-00640-8.

Patiño, S., Suarez, L. N., Andrade, H. J., Segura, M. A. 2018. Captura de carbono en biomasa en plantaciones forestales y sistemas agroforestales en Armero-Guayabal, Tolima, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(2): 121-134. DOI: https://doi.org/10.22490/21456453.2312.

Pérez, C. G. E., Tzec, G. M., Albores, M. S., Sanginés, G. J., Aguilar, U. E., Chay, C. A., Canul, S. J., Muñoz, G. J., Diaz, E. V., Piñero, V. A. T. 2020. Degradabilidad y producción de metano in vitro del follaje de árboles y arbustos con potencial en la nutrición de rumiantes. *Acta Universitaria*, 30: 2840. DOI: http://doi.org/10.15174.au.2020.2840.

Pérez, M. P., Porto, J. A. C., Cerpa, S. G., Marín, J. C., Martell, A. L. R., Labrada, Y. R. V., Benítez, M. P. 2023. Uso de las vainas de *Samanea saman* (Jacq.) Merr. como suplemento en la ceba de ovinos Pelibuey. *Orange Journal*, *5*(9): 43-49. DOI: https://doi.org/10.46502/issn.2710-995X/2023.9.05.

Pérez, S. E., Hernández, H. E., Jiménez, T. J.A., Betanzos, S. J.E., Casasola C. F., Martínez, S. F., Martínez, S. A., Sepúlveda, L. C. 2021. Reconversión de ganadería convencional a silvopastoril: Estudio de caso rancho El Once en Campeche, México. *Avances en investigación agropecuaria*, 25(3): 174-175. DOI: https://doi.org/10.53897/RevAIA.21.25.46

Pocomucha S. V., Alegre, J., Abregú, L. (2016). Análisis socio económico y carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma Cacao* L.) en Huánuco. *Ecología Aplicada*, 15(2). DOI: http://dx.doi.org/10.21704/rea.v15i2.750.

Ramírez, B. L., Lavelle, P., Orejuela J. A., Villanueva, O. 2012. Caracterización de fincas ganaderas y adopción de sistemas agroforestales como propuesta de manejo de suelos en Caquetá, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 25: 391-401.

Ramos, C., Páez A. M., Blare, B. 2019. Perspectivas de género sobre la producción de cacao agroforestal en Ecuador y Perú. Ideas para una intensificación inclusiva y sostenible. *Revista LEISA*, 35 (4): 13-16. DOI: https://leisa-al.org/web/index.php/volumen-35-numero-4/4039-perspectivas-de-genero-sobre-la-produccion-de-cacao-agroforestal-en-ecuador-y-peru-ideas-para-una-intensificacion-inclusiva-y-sostenible.

Reyna, H. R.A. 2002. *Hunting effects on ungulate populations in Calakmul, Mexico*. M.Sc. dissertation. University of Florida, Gainsville, Florida, USA. 72 p.

Reyna, H. R.A & Tanner, G.W. 2005. Habitat preferences of ungulates in hunted and nonhunted areas in the Calakmul forest. Campeche, Mexico. *Biotropica*, 37: 676-685. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-06902012000300006&lng=en&tlng=es.

Sandoval, P. A. A., Ramírez, M. M., Rodríguez, Á. N. L., Candelaria, M. B. 2020. Árboles y arbustos tropicales con potencial para disminuir la producción de metano en rumiantes. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(33): 1-16. http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3061

Salim, R., Asik, J., & Sarjadi, M. S. 2021. Chemical functional groups of extractives, cellulose and lignin extracted from native Leucaena leucocephala bark. *Wood Science and Technology*, 55: 295-313. DOI: https://doi.org/10.1007/s00226-020-01258-2.

Santiago, F. J. J, Mosquera, L. M, Rois, D. M, Ferreiro, D. N., Pantera, A., Aldrey, J. A., Rigueiro, R. A, 2021. Global and European policies to foster agricultural. *Agroforestry Systems*, 95(5): 775-790.

Torquebiau, E. F. 2000. A renewed perspective on agroforestry concepts and classification. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences-Series III-Sciences de la Vie*, 323(11): 1009-1017.

Santillán, F. A., González, P. C., Bautista, O. J., Huicab, P. Z. G., Escobar, C. J., Larqué, S. A. (2020). *Brosimum alicastrum* Swartz as an alternative for the productive reconversion of agrosilvopastoral areas in

Campeche. *Revista mexicana de Ciencias Forestales*, 11(61): 51-69.

Sistema Producto apícola del estado de Campeche. (2009). *Plan rector de la apicultura de Campeche*. Secretaría de Desarrollo Rural Gobierno del Estado, Secretaría de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentos, Campeche. México, Campeche. 20 p.

SEMARNAT. 2018. *Reserva de la Biosfera Calakmul*. SEMARNAT. México. Consultado en: https://www.gob.mx/semarnat/articulos/reserva-de-la-biosfera-calakmul-157277?idiom=es.

Schwengber, D.R. 1998. Sistemas silvopastoriles en Brasil. En: Uribe, A. (comp.) *Silvopastoreo:* Alternativa para mejorar la sostenibilidad y *competitividad de la ganadería colombiana. Compilación memoria 1995 – 1996 de dos seminarios internacionales*. CORPOICA/COLCIENCIAS/FEDEGAN/MINIST ER IO DE AGRICULTURA. P 33-42.

Somarriba, E. 1992. Revisiting the past: an essay on agroforestry definition. *Agroforestry Systems,* 19, 233-240. https://doi.org/10.1007/BF00118781

Torres, R. J. A., y Palma, G. J. M. 2020. *Los Sistemas Agroforestales de México*. Colegio Mexicano de Agroforestería Pecuaria en México. Origen, avances, retos y perspectivas. 571. DOI: https://red-sam.org/wp-content/uploads/2_Dr_Jose_Antonio_Torres_Rivera.pdf.

Torres, F. 1995. El papel de las leñosas perennes en los sistemas agrosilvopastoriles. CATIE/INFORAT. Turrialba, Costa Rica. 46 p.

Toruño, P. J., Roque, G. J. L., & Torres, R. Z. A. 2012. Acceptability and Adoption of Adaptative Production Systems in The Watershed "El Guayabo-San José", El Sauce Municipality, Leon. *Revista Científica La Calera*, 12 (18): 52-60. **:** http://www.lamjol.info/index.php/CALERA/article/view/1125/935.

Urbano, D., Dávila, C. 2005. Leguminosas arbóreas para optimizar la producción de leche y carne. En González C. y Soto E. (eds.). *Manual de Ganadería Doble Propósito*. Fundación GIRARZ, Maracaibo, Venezuela. Astro Data P 213-218.

Villanueva, C., Ibrahim, M., Casasola, F., Ríos, N., Sepúlveda, C. 2009. Sistemas silvopastoriles: una herramienta para la adaptación al cambio climático de las fincas ganaderas en América Central. *Serie Técnica. Informe Técnico/CATIE,* 377.

Yadav, A., Gendley, M. K., Sahu, J., Patel, P. K., Chandraker, K., & Dubey, A. 2019. Silvopastoral system: a prototype of livestock agroforestry. *The Pharma Innovation Journal*, 8(2): 76-82. DOI: https://www.thepharmajournal.com/archives/2019/vol8issue2/PartB/8-1-94-847.pdf.

Young, A. 1989. Ten hypotheses for soil-agroforestry research. *Agroforestry Today* (Kenya), 1(1):13-15.